



Universidad
Carlos III de Madrid

Departamento de informática

Trabajo de fin de grado

Desarrollo de un simulador de tráfico ferroviario
sobre cartografía descargada dinámicamente

Autor: Gabriel Montero Montes

Tutor: Alberto García Fernández

Leganés, Septiembre de 2012

Agradecimientos

Posiblemente si tuviera que nombrar uno por uno a todas aquellas personas a las que me gustaría en este trabajo de fin de grado no cabrían en esta plana, así que si hay alguien que no aparece en ella, que no se dé por ofendido ;)

En primer lugar y una posición preferente doy las gracias a mis padres José y Agustina, gracias a su confianza esto cuatro años y paciencia se ha podido materializar este proyecto de ingeniero en una realidad. Por otro también agradecérselo especialmente a mis hermanos, ~~aunque más bien por obligación~~, Álvaro y Marta. Álvaro por su paciencia cuasi infinita que tiene conmigo y haber sido el mejor hermano que se puede tener y compañero de prácticas. A Marta también darle las gracias y la enhorabuena, que aún no se lo he dicho desde esta mañana, por haber terminado segundo de bachillerato. Lo había guardado durante todo el día para que quedara publicado aquí. A mis abuelos José, Emiliana, Juan y Domitila y en general a toda mi familia.

A mis compañeros del laboratorio 2.2.B06 der. Rubén, Alberto, Carlos, Manuel y Alfredo. Sois un gran equipo, gracias por teneros cerca, y gracias a Jesús y a Félix por haberme dado la oportunidad de entrar en el equipo hace ya casi dos años. Por otro lado destaco a mi tutor de proyecto, Alberto, gracias por la paciencia que has tenido conmigo y por este último esfuerzo de revisar la memoria este último día de la entrega pero no es que es que pierda mucho tiempo en distracciones sino me cuesta mucho redactar, no valgo de letras por eso me decidí hacerme ingeniero.

A mis compañeros de titulación habidos a lo largo de estos 4 años, sin vosotros no habría sido igual: David, Rosa, Manuel, María, Alberto, Almudena, Rodrigo, Miriam, Víctor, Beatriz, José Emilio, Jessica, José Ángel, Patricia, Alejandro, Álvaro... ¡Mira! Este último se llama como mi hermano.

También destacar a dos compañeros de viaje que conocí en Londres: Diego Luis y Belén. Hicisteis muy especial esas muy cortitas estancia de tres semanas.

« Veni, vidi, vici »

Julio César, 47 a.C.



Resumen

En las últimas décadas las computadoras se han introducido en la sociedad en todos sus hábitos, en el campo del ferrocarril no ha sido ninguna excepción. El presente documento tiene como objetivo la documentación de un simulador ferroviario, en un entorno virtual, capaz de calcular y presentar la posición de un tren, su velocidad y su consumo, a lo largo de todo su recorrido para los instantes de tiempos calculados. Adicionalmente gracias a las conexiones de red y de alta velocidad es posible acceder a servicios, pesados en cuanto su tráfico, como por ejemplo los servidores de cartografía digital. Estos servidores proveen imágenes de mapas de cualquier casi cualquier parte del mundo de manera instantánea. Por tanto aprovechando este servicio suministrado, se va a crear un simulador que cuando muestre al usuario al usuario las posiciones de los trenes, éstos se van a situar sobre una imagen del lugar donde se encuentran.

El simulador desarrollado se encuentra dentro de un proyecto mayor en el que trabaja en su desarrollo un equipo de trabajo del grupo Arcos (Departamento de informática) con Adif. Este documento es resultado de un estudio previo de la tecnología disponible para abordar este reto. También hará un especial énfasis de qué es lo que se desea y de qué modo se debe diseñar. Para finalizar, se presentarán una serie de pruebas realizadas al programa diseñado, se especificará de qué manera ha sido realizado y qué datos de entrada recibe, un presupuesto e ideas para nuevas mejoras.

Tabla de contenido

1	Introducción	14
1.1	Contexto	14
1.2	Problema	17
1.3	Objetivos	18
1.3.1	Objetivos principales	18
1.3.2	Objetivos secundarios	18
1.4	Estructura del documento.....	20
1.5	Fases del desarrollo.....	21
1.6	Recursos empleados	21
1.7	Glosarios y términos.....	22
1.7.1	Términos.....	22
1.7.2	Siglas y acrónimos	24
2	Estado del arte	26
2.1	Estado del arte de simuladores ferroviarios	26
2.2	Estado del arte en la georreferenciación	28
2.2.1	Geodesia.....	28
2.2.2	Geoide y elipsoide	28
2.2.3	Datums de referencia.....	30
2.3	Servidores de mapas	37
2.3.1	Servidores WMS	37
3	Aspectos técnicos.....	40
3.1	Infraestructura ferroviaria.....	40
3.1.1	Vía.....	40
3.1.2	Estaciones.....	41
3.1.3	Perfiles en planta.....	42
3.1.4	Perfiles en alzado	42
3.1.5	Tramos de velocidad	43
3.1.6	Túneles	43
3.1.7	Tramos de carril.....	43
3.2	Aspectos técnicos eléctricos de una instalación ferroviaria	44
3.2.1	Subestaciones.....	44
3.2.2	Seccionamientos	45

3.2.3	Catenaria	46
3.3	Aspectos técnicos de la circulación	47
3.3.1	Circulación	47
3.3.2	Trenes	47
3.4	Trayectos	49
4	Análisis del sistema	52
4.1	Casos de uso	52
4.1.1	Diagramas de caso de uso	53
4.1.2	Descripción textual de los casos de uso	54
4.2	Especificación de requisitos de usuario	59
4.2.1	Requisitos de capacidad	60
4.2.2	Requisitos de restricción	63
4.3	Especificación de requisitos de software	65
4.3.1	Requisitos de software funcionales	66
4.3.2	Requisitos de software no funcionales	71
4.4	Matrices de trazabilidad	73
4.4.1	Matriz de trazabilidad entre requisitos de capacidad y casos de uso	73
4.4.2	Matriz de trazabilidad entre requisitos de restricción y casos de uso	73
4.4.3	Trazabilidad entre requisitos de capacidad y requisitos de software funcionales	74
4.4.4	Trazabilidad entre requisitos de capacidad y requisitos de software no funcional	74
4.4.5	Trazabilidad entre requisitos de restricción y requisitos de software funcional	75
4.4.6	Trazabilidad entre requisitos de restricción y requisitos de software no funcional	75
4.4.7	Trazabilidad entre requisitos de software funcional y casos de uso	76
4.4.8	Trazabilidad entre requisitos de software no funcional y casos de uso	76
5	Diseño	78
5.1	Definición de la arquitectura del sistema	78
5.1.1	Ventajas de utilizar MVC	79
5.1.2	Identificación de subsistemas de diseño	80
5.2	Descripción de clases del proyecto	81
5.2.1	Atributos y métodos de las clases	82
5.3	Modelo de datos	91
5.3.1	Modelo de datos de proyecto	91
5.3.2	Modelo de base de datos de municipios	92
5.3.3	Modelo de datos de circulaciones válidas	93
5.3.4	Modelo de datos de imágenes de mapas cartográficas en caché	94

6	Pruebas.....	96
6.1	Caso de prueba 1.....	97
6.2	Caso de prueba 2.....	98
6.3	Caso de prueba 3.....	99
6.4	Caso de prueba 4.....	100
6.5	Caso de prueba 5.....	101
6.6	Caso de prueba 6.....	102
7	Presupuesto	104
7.1	Ciclo de vida	105
7.2	Fases de desarrollo.....	107
7.2.1	Diagrama de Gantt de fases de desarrollo.....	108
7.3	Recursos humanos	109
7.3.1	Salario percibido.....	109
7.3.2	Abono seguridad social del personal	109
7.4	Bienes	109
7.4.1	Bienes intangibles	109
7.4.2	Desamortizaciones	109
7.5	Resumen de costes.....	110
8	Conclusiones y líneas futuras de trabajos.....	112
8.1	Conclusiones.....	112
8.2	Líneas futuras de trabajo.....	114
9	Referencias.....	116
9.1	Referencias bibliográficas	116
9.2	Referencias a recursos de sitios web	118

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 - Richard Trevithick [5]	14
Ilustración 2 - Locomotora de Trevithick [6]	14
Ilustración 3 - George Stephenson [8]	15
Ilustración 4 - Máquina Rocket de Stephenson [9]	15
Ilustración 5 - Locomotora de vapor de mediados del siglo XX [10]	15
Ilustración 6 - Máquina diesel [11]	15
Ilustración 7 - Tren eléctrico [12]	16
Ilustración 8 - Esquema de funcionamiento de tren de levitación magnética [14]	16
Ilustración 9 - Tren de levitación magnética [15]	16
Ilustración 10 - Logotipo de RENFE [16]	17
Ilustración 11 - Logotipo de Renfe operadora [20]	17
Ilustración 12 - Logotipo de Adif [21]	17
Ilustración 13 - Prototipo SYCE. Se muestran de manera esquemática las vías de Madrid	27
Ilustración 14 - Geoide [29]	29
Ilustración 15 - Elipsoide [30]	29
Ilustración 16 - Diferencia entre geoide y elipsoide [31]	29
Ilustración 17 - Región de mejor ajuste de elipsoide [32]	30
Ilustración 18- Funcionamiento del método mediante sistema de coordenadas [33]	32
Ilustración 19 - Transformación de una esfera a plano [34]	33
Ilustración 20 - - Proyecciones Mollweide (equivalente) y Mercator (conforme) [35]	33
Ilustración 21 - Proyección cilíndrica [36]	34
Ilustración 22 - Proyección cilíndrica transversal [37]	34
Ilustración 23 - Zonas y husos UTM [38]	35
Ilustración 24 - Imagen de mapa de servidor PNOA de la estación de Madrid-Chamartín	38
Ilustración 25 - En la imagen se puede ver una vía compuesta por dos rieles apoyado sobre traviesas sobre una capa de balastos [39]	40
Ilustración 26 - Estación de Madrid-Chamartín [40]	41
Ilustración 27 - Apeadero de La Cantábrica [41]	41
Ilustración 28 - Representación esquemática de una vía. Por distintos colores, de izquierda a derecha, se distinguen un tramo de perfil recto, un perfil de transición y un perfil en recta....	42
Ilustración 29 - Alimentación de trenes por medio de catenaria [42]	44
Ilustración 30 - Alimentación de ferrocarril medio de tercer carril [43]	44
Ilustración 31 - Imagen de seccionamiento. En la imagen se puede visualizar postes con dos ménsulas cada uno que sustentan conductores de dos subestaciones eléctricas distintas [44]	45
Ilustración 32 – Automotor Civia [45]	47
Ilustración 33 - Locomotora de la serie 253 [46]	48
Ilustración 34 - Automotor de la serie 450 [47]	48
Ilustración 35 - Trayecto con las horas de llegadas a las estaciones y salida	49
Ilustración 36 - Circulación desde la estación de "El Escorial" a "Madrid-Chamartín"	49
Ilustración 37.- Diagrama de Casos de Uso	53
Ilustración 38 - Modelo - vista – controlador	78
Ilustración 39 - Diagrama de componentes	80
Ilustración 40 - Estructura en árbol del proyecto SYCE	81

Ilustración 41 - Imagen del formulario DlgSimulacionCartográfica	82
Ilustración 42 - Imagen del formulario DlgSelecionCirculacion	86
Ilustración 43 - Imagen del formulario DlgSeleccionarMunicipio.....	90
Ilustración 44 - Modelo relacional de datos de archivos de proyectos SYCE.....	91
Ilustración 45 - Imagen de directorio de circulaciones válidas en el Explorador de Windows...	93
Ilustración 46 - Imagen de directorio de imágenes de mapas en caché.....	94
Ilustración 47 - Ciclo de vida en cascada retroalimentada	105
Ilustración 48 - Diagrama de Gantt del desarrollo del proyecto.....	108

Índice de Tablas

Tabla 1 - Tabla de términos.....	23
Tabla 2 - Tabla de siglas y acrónimos	24
Tabla 3 - Datums de referencia	31
Tabla 4 - Parámetros de solicitud de mapas de servidores WMS.....	38
Tabla 5 - Tipo de estaciones según su función.....	41
Tabla 6 - Elementos de la catenaria	46
Tabla 7 - Ejemplo de tabla textual de caso de uso.....	54
Tabla 8 - Tabla de caso de uso 1 - Mostrar / ocultar mapas cartográficos	55
Tabla 9 - Tabla de caso de uso 2 - Localización de municipios.....	55
Tabla 10 - Tabla de caso de uso 3 - Mostrar / ocultar leyenda de circulaciones	56
Tabla 11 - Tabla de caso de uso 4 - Examinar mapa.....	56
Tabla 12 - Tabla de caso de uso 5 - Selección de circulaciones de trenes para simular	57
Tabla 13 - Tabla de caso de uso 6 - Simular circulaciones de trenes	57
Tabla 14 - Tabla de caso de uso 7 - Manejar simulación de circulación	58
Tabla 15 - Ejemplo de tabla de requisitos de usuario	59
Tabla 16 - Requisito de usuario 1 - Integración con la aplicación principal.....	60
Tabla 17 - Requisito de usuario 2 - Representación de mapas cartográficos	60
Tabla 18 - Requisito de usuario 3 - Almacenamiento de mapas cartográficos.....	60
Tabla 19 - Requisito de usuario 4 - Representación de municipios	60
Tabla 20 - Requisito de usuario 5 - Etiquetas de municipios	61
Tabla 21 - Requisito de usuario 6 - Representación de puntos de interés	61
Tabla 22 - Requisito de usuario 7 - Etiquetas de punto de interés	61
Tabla 23 - Requisito de usuario 8 - Posibilidad de trazado real	61
Tabla 24 - Requisito de usuario 9 - Representación de la circulación	62
Tabla 25 - Requisito de usuario 10 - Leyenda de circulación	62
Tabla 26 - Requisito de usuario 11 - Simulación de circulación	62
Tabla 27 - Requisito de restricción 1 - Sistema operativo.....	63
Tabla 28 - Requisito de restricción 2 - Desarrollo en .NET Framewok 2.0	63
Tabla 29 - Requisito de restricción 3 - Georreferenciación de mapas por sistema DATUM.....	63
Tabla 30 - Requisito de restricción 4 - Servidor SIGPAC.....	64
Tabla 31 - Requisito de restricción 5 - Localización de municipios	64
Tabla 32 - Ejemplo de tabla de requisito de software	65
Tabla 33 - Requisito funcional 1 - Localización espacial de la zona mostrada	66
Tabla 34 - Requisito funcional 2 - Activación de mapas cartográficos.....	66
Tabla 35 - Requisito funcional 3 - Caché de almacenamiento de mapas cartográficos.....	66
Tabla 36 - Requisito funcional 4 - Localización de municipios	66
Tabla 37 - Requisito funcional 5 - Activación de localización de municipios	67
Tabla 38 - Requisito funcional 6 - Selección de circulaciones para simulación	67
Tabla 39 - Requisito funcional 7 - Elección de circulaciones para simulación	67
Tabla 40 - Requisito funcional 8 - Inicio de simulación de circulaciones	67
Tabla 41 - Requisito funcional 9 - Velocidad de simulación.....	68
Tabla 42 - Requisito funcional 10 - Pausado de simulación	68
Tabla 43 - Requisito funcional 11 - Reanudación de simulación.....	68

Tabla 44 - Requisito funcional 12 - Interrupción de simulación	68
Tabla 45 - Requisito funcional 13 – Visualización de simulación	69
Tabla 46 - Requisito funcional 14 – Mostrado de circulación en simulación.....	69
Tabla 47 - Requisito funcional 15 – Visualización de simulación en el mapa	69
Tabla 48 - Requisito funcional 16 – Visualización de simulación siguiendo a circulación	69
Tabla 49 - Requisito funcional 17 – Visualización de circulación desde punto de interés.....	70
Tabla 50 - Requisito funcional 18 – Activación de leyenda.....	70
Tabla 51 - Requisito funcional 19 – Detalles de circulación.....	70
Tabla 52 - Requisito funcional 20 – Visualización de mapa desde municipio.....	70
Tabla 53 - Requisito funcional 21 – Visualización del mapa desde punto de interés	71
Tabla 54 - Requisito no funcional 1 - Compatibilidad con Microsoft Windows XP o superior ..	71
Tabla 55 - Requisito no funcional 2 - Utilización como referencia DATUM ED50.....	71
Tabla 56 - Requisito no funcional 3 - Solicitud de imágenes de mapas cartográficos	72
Tabla 57 - Requisito no funcional 4 – Necesidad de conexión a internet.....	72
Tabla 58 - Requisito no funcional 5 - Comunicación con servidor de imágenes de mapas cartográficos.....	72
Tabla 59 - Matriz de trazabilidad entre requisitos de capacidad y casos de uso	73
Tabla 60 - Matriz de trazabilidad entre requisitos de restricción y casos de uso	73
Tabla 61 - Matriz de trazabilidad entre requisitos de capacidad y requisitos de software funcionales	74
Tabla 62 - Matriz de trazabilidad entre requisitos de capacidad y requisitos de software no funcional.....	74
Tabla 63 - Matriz de trazabilidad entre requisitos de restricción y requisitos de software funcional.....	75
Tabla 64 - Matriz de trazabilidad entre requisitos de restricción y requisitos de software no funcional.....	75
Tabla 65 - Matriz de trazabilidad entre requisitos de software funcional y casos de uso.....	76
Tabla 66 - Matriz de trazabilidad entre requisitos de software no funcional y casos de uso.....	76
Tabla 67 - Tablas del modelo base de datos de municipios.....	92



INTRODUCCIÓN

1 Introducción

1.1 Contexto

Durante los siglos XVII y XIX como producto de la revolución industrial en Inglaterra aparecen los primeros trenes y por tanto los primeros trazados ferroviarios. Desde esa época el ferrocarril tiene un papel fundamental en el transporte de mercancías y de personas suponiendo una revolución económica y social para las sociedades de todo el mundo.

La primera locomotora se la podemos atribuir a Richard Trevithick [2], un ingeniero británico, inventor y constructor de máquinas. En 1802 diseñaría la primera locomotora cuya patente sería vendida un año después a Samuel Homfray [3]. La propuesta se llevó a cabo el 21 de febrero de 1804 la locomotora de Trevithick remolcó cinco vagones de 10 toneladas y 70 hombres, necesitó cuatro horas para cubrir toda la distancia y circuló a una velocidad media de 3,8 km/h. La locomotora por sí sola conseguía alcanzar una velocidad punta de 25 km/h. Aunque funcionaba esta máquina, no tuvo éxito debido a que era muy pesada para los raíles de hierro fundido. A los cinco meses dejó de funcionar.



Ilustración 1 - Richard Trevithick [5]

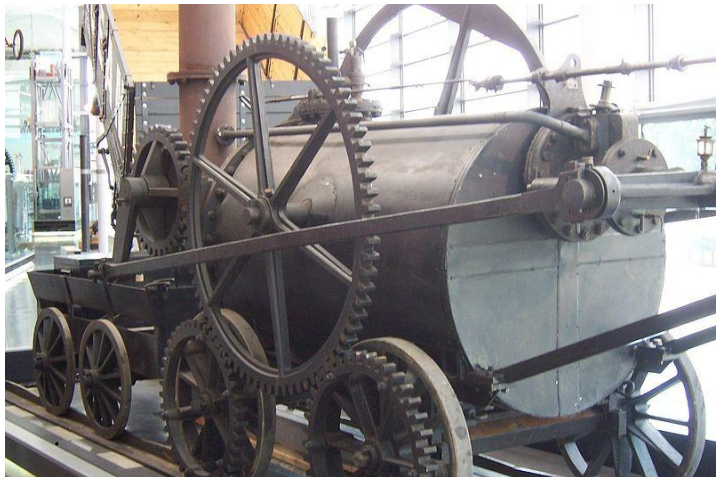


Ilustración 2 - Locomotora de Trevithick [6]

Después de la fallida locomotora de Richard Trevithick no se volvió a saber nada de las locomotoras hasta 1821. En el año 1821 George Stephenson [7] diseñó una nueva locomotora de vapor, locomotora que se convertiría en la única servible y fiable durante mucho tiempo. Esta locomotora, Locomotion nº1, se convirtió en la máquina que prestaría servicio en la línea de ferrocarril Darlington-Stockholm. George Stephenson pese a que no se le puede atribuir la invención de la locomotora podemos considerarle como el pionero más exitoso.



Ilustración 3 - George Stephenson [8]



Ilustración 4 - Máquina Rocket de Stephenson [9]

Tras la aparición de la primera locomotora de George Stephenson [7] comienza años más tarde la fabricación de nuevos modelos de locomotoras más fiables y con mejoras en sus prestaciones y rendimiento. Será a partir del principios del siglo XX con la aparición de las primeras locomotoras diésel y eléctricas el final del desarrollo de las locomotoras de vapor. No obstante hasta finales del siglo XX no desaparecerían de circulación.



Ilustración 5 - Locomotora de vapor de mediados del siglo XX [10]

Las máquinas de ferrocarril diésel, supusieron una revolución en eficiencia energética debido a una mejor eficiencia en sus motores diésel, requerían menor mantenimiento y no era necesario suministrar agua en numerosos puntos a lo largo de su recorrido. Principal ventaja en extensas áreas de América del Norte en las que no era fácil conseguir agua.



Ilustración 6 - Máquina diesel [11]

Las máquinas de ferrocarril eléctricas son actualmente las más modernas y de mejor acogidas debido a sus ventajas de reducción de impactos ambientales como ruidos y polución debido a la combustión de combustibles fósiles. Además son las de mayor eficiencia energética debido a sus motores eléctricos. Su principal desventaja es que es necesario el montaje de una infraestructura eléctrica para transmitirles electricidad.



Ilustración 7 - Tren eléctrico [12]

Actualmente se está investigando y lanzando prototipos de nuevos trenes con nuevas formas de tracción, como los primeros modelos de trenes de levitación magnética capaces de conseguir velocidades punta de hasta 581 km/h [13]

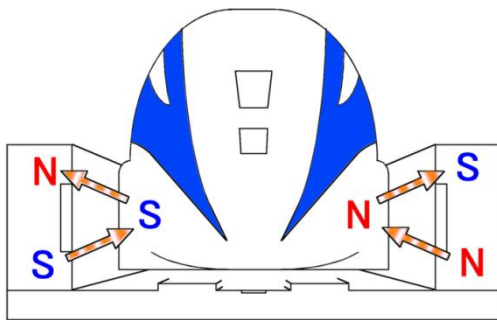


Ilustración 8 - Esquema de funcionamiento de tren de levitación magnética [14]



Ilustración 9 - Tren de levitación magnética [15]

1.2 Problema

La liberación del sector público del ferrocarril es impuesta por la directiva 91/440 [4] de la Unión Europea abre las puertas a la circulación flotas de trenes de compañías privadas por las vías propiedad de los estados miembros. Esta directiva promueve así la libre competencia.



Ilustración 10 - Logotipo de RENFE [16]

El 31 de Diciembre del año 2004 se realizaría la primera transformación en el sector público de ferrocarril español en muchos años, como así había ordenado la directiva de la Unión Europea, la compañía pública de ferrocarriles españoles RENFE [17] desaparecería como organismo de mantenimiento, construcción de infraestructuras y circulación de trenes para viajeros y mercancías tras 64 años de servicio. RENFE se dividió en dos nuevas organizaciones. La primera de ellas se denominó Renfe Operadora [18], organización sucesora y heredera del parque móvil y la otra se denominó Adif [19], la cual se encarga del mantenimiento y construcción de infraestructuras ferroviarias.

Adif es la entidad pública de mantenimiento de infraestructuras ferroviarias y su vez la encargada de suministrar a todas las empresas ferroviarias que así lo deseen la posibilidad de circulación de sus vehículos por sus vías. Aquí surge el problema, debido a que ya no solo existe un único operador de trenes es necesario un nuevo sistema para programar las circulaciones de trenes de distintas compañías evitando el riesgo de colisiones entre ellas.



Ilustración 11 - Logotipo de Renfe operadora [20]



Ilustración 12 - Logotipo de Adif [21]

El grupo Arcos de la Universidad Carlos III de Madrid colabora con Adif en el desarrollo de una aplicación informática para simulador de circulaciones de trenes por infraestructuras ferroviarias. La aplicación se encuentra en una fase del desarrollo muy avanzado y la colaboración con el equipo de diseño consistirá añadir a la aplicación informática una interfaz gráfica en la se mostrará mapas cartográficos y se presentarán simulaciones de las circulaciones programadas.

1.3 Objetivos

En la esta sección se van presentar qué objetivos se buscan conseguir en este trabajo de fin de grado.

1.3.1 Objetivos principales

- Simulación en programa informático de circulaciones de tráfico ferroviario.

Se pretende diseñar un simulador de circulaciones ferroviarias en entornos virtuales en la que el trazado ferroviario y las circulaciones de los trenes intenten ser lo más realistas posibles a los recursos disponibles por Adif. Durante la simulación de las circulaciones se detallarán al usuario datos como la vía, punto kilométrico, velocidad instantánea, consumo, distancia recorrida...

- Representación del tráfico simulado sobre imágenes de mapas cartográficos obtenidos desde servidores externos.

La simulación de la circulaciones y así el mostrado de todos los elementos ferroviarios disponibles se presentarán en su localización espacial sobre una capa de imágenes de mapas cartográficos.

1.3.2 Objetivos secundarios

- Conocer y comprender los elementos que participan en las circulaciones ferroviarias y que afectan al movimiento del tren.

Este trabajo de fin de grado es complementario a otro presentado en Julio de 2012 llamado: Simulación del movimiento de trenes para minimizar el consumo energético y optimización para plataformas multicore [22] en él se diseñó un algoritmo capaz de calcular el movimiento de un tren de manera fiable optimizando el consumo energético de manera en la que resulte más económico el movimiento de los trenes. Ha sido necesario el estudio de este algoritmo comprendiendo su funcionamiento para su utilización en la simulación de circulaciones. Además también fue necesario el aprendizaje de cómo funciona el movimiento de los trenes en el mundo real.

- Conocimiento y comprensión de sistemas de georreferenciación cartográfica para añadir más realidad al simulador de tráfico ferroviario.

Se estudiarán distintas alternativas de sistemas de georreferenciación y se implementará en la aplicación el sistema de georreferenciación que mejor se adapte respetando el desarrollo de la aplicación que ya existe.

- Conocimiento y comprensión de servicios web de cartografía digital.

Se evaluarán distintos servicios de obtención de imágenes de mapas cartográficos para elegir el que mejor se adapte en el simulador.

- Conocimiento de los elementos ferroviarios que participan en el trazado de líneas ferroviarias.

Se deberá conocer y comprender los elementos físicos que sirven de apoyo a los trenes para su circulación en la infraestructura.

- Aprender a utilizar el entorno de desarrollo de Microsoft .Net y más concretamente en el lenguaje Visual C#

Adif deseó un simulador con interfaz gráfica que funcionara en ordenadores de escritorio bajo el sistema operativo Microsoft Windows. En ese caso la plataforma de desarrollo Microsoft Visual Studio .Net cumple con los requisitos.

- Aprovechar los conocimientos adquiridos a lo largo de la titulación para el desarrollo de un código estructurado de forma tal que en futuras actualizaciones no opongan dificultades a la integridad del proyecto.

1.4 Estructura del documento

A continuación se van a enumerar los capítulos en los que se divide este documento de trabajo final de grado y se describirá una breve descripción del contenido de éstos:

- **Apartado 1: Introducción.** Sección en la que se hace una breve introducción al tema del proyecto final de grado, se explican sus objetivos y la estructura del documento.
- **Apartado 2: Estado del arte.** En esta sección se hace referencia del estado de la tecnología actual en el campo.
 - **Estado del arte de simuladores ferroviarios.** Se hace referencia a la situación actual de los simuladores de movimiento de trenes.
 - **Estado del arte en la georreferenciación.** Se hace referencia a la situación actual de sistemas de referencia geodésica.
 - **Servidores de mapas.** Se hace referencia de la forma de utilizar y obtener imágenes de cartografía digital de ellos.
- **Apartado 3: Aspectos técnicos.** En esta sección se hace referencia del estado actual tecnológico.
 - **Aspectos técnicos de la infraestructura.** Se describen los elementos estáticos de circulación de las instalaciones ferroviarias.
 - **Aspectos técnicos eléctricos de una instalación ferroviaria.** Se describen los elementos estáticos eléctricos de las instalaciones ferroviarias.
 - **Aspectos técnicos de la circulación.** Describe el funcionamiento del movimiento y circulación de los trenes.
- **Apartado 4: Análisis.** Refleja los aspectos que se han de tener en cuenta para el posterior diseño del software. Incluye la definición de los casos de uso y de los requisitos de software.
- **Apartado 5: Diseño.** Detalla las características del proyecto para facilitar su implantación por parte del equipo de trabajo. Define la arquitectura del sistema y las clases del proyecto.
- **Apartado 6: Pruebas.** Analiza las pruebas realizadas sobre el funcionamiento del programa una vez ha sido creado.
- **Apartado 7: Presupuesto.** Contiene los gastos que ha supuesto la realización del proyecto. Contempla las fases del desarrollo, los gastos en personal, en recursos tecnológicos y en aplicaciones para estos.
- **Apartado 8: Conclusiones y líneas futuras.** Tras la finalización del proyecto, se desarrollan una serie de conclusiones y líneas futuras a tener en cuenta.
- **Apartado 9: Referencias.** Relación de bibliografía usada para la realización del proyecto.

1.5 Fases del desarrollo

Para la realización de este trabajo de fin de grado ha sido necesario el seguimiento de estas fases:

- Familiarización de los conceptos ferroviarios.
- Familiarización con el entorno de desarrollo de la aplicación.
- Estudio del estado actual de la aplicación en desarrollo.
- Estudio de sistemas de georreferenciación y viabilidad de ellos en la aplicación.
- Estudio de cambios en el desarrollo de la aplicación.
- Especificación de los requisitos del sistema.
- Planificación.
- Presupuesto.
- Desarrollo de la aplicación.
- Pruebas.
- Mantenimiento y puesta en producción.

1.6 Recursos empleados

Para el desarrollo de este proyecto se han utilizado:

- Un equipo personal formado por unidad de proceso, pantalla, teclado y ratón.
- Sistema operativo Microsoft Windows.
- Paquete de desarrollo Microsoft Visual Studio.
- Suite ofimática Microsoft Office.
- Microsoft .Net Framework.
- Conexión a internet.

1.7 Glosarios y términos

1.7.1 Términos

Término	Definición
Algoritmo	Conjunto de instrucciones ordenadas y finitas que permite realizar una tarea.
Apartadero	Tipo de estación en la que espera del tren separado de la vía principal en el que el tren espera para ser adelantado por un tren de mayor velocidad o pase un tren en sentido contrario.
Apartadero-cargadero	Tipo de estación en la que puede esperar un tren tren separado de la vía principal en el que el tren espera para ser adelantado por un tren de mayor velocidad o pase un tren en sentido contrario en el que adicionalmente se dispone de un muelle para poder subir y bajar mercancías.
Apeadero	Tipo de estación en la que tiene lugar de bajada y subida de viajeros. No necesariamente existen instalaciones de control de circulación, desvíos ni señales.
Bifurcación	Punto en el que tiene lugar que una vía se divide en dos dando el origen a una segunda vía.
C#	Lenguaje de programación orientado a objetos y estandarizado por Microsoft como parte de su plataforma .NET
Cargadero	Tipo de estación donde se dispone de un muelle de subida y bajada de mercancías.
Catenaria	Línea aérea de alimentación que transmite energía eléctrica a las locomotoras u otro material motor
Clotoide	Ver espiral de Corniú
Espiral de Cornú	Es una curva tangente al eje de las abcisas en el origen y cuyo radio de curvatura disminuye de manera inversamente proporcional a la distancia recorrida sobre ella.
Estación	Instalación con vías ferroviarias desde la que se pueden expedir trenes. Disponen de instalaciones de control de circulaciones, señales de control de tráfico y posibilidad de desvíos. Adicionalmente pueden disponer de andenes para el cambio de pasajeros y muelles de subida y bajada de mercancías.
Galileo	Sistema de navegación desarrollado por la Unión Europea
GIF	Formato de archivo gráfico comprimido.
GPS	Sistema de posicionamiento global. Es un dispositivo con la capacidad de determinar la localización de un objeto con precisión.
Geoide	Figura similar a una esfera de superficie muy irregular de difícil cálculo de superficie. Se asimila a nuestro planeta.
Interfaz	Medio con que el usuario puede comunicarse con una máquina, un equipo, o una computadora”
Interpolación	Se denomina interpolación a la obtención de nuevos puntos partiendo del conocimiento de un conjunto discreto de puntos

Término	Definición
JPEG	Formato de imagen comprimida utilizado en la mayor parte de cámaras fotográficas y dispositivos capturadores de imágenes estáticas.
Microsoft	Empresa estadounidense de software
Microsoft .NET Framework	Framework de Microsoft que permite un rápido desarrollo de aplicaciones informáticas con independencia de hardware.
Microsoft Office	Suite ofimática de Microsoft.
Microsoft Visual Studio	Entorno de desarrollo de aplicaciones informáticas para Microsoft Windows.
Microsoft Windows	Sistema operativo de computador de Microsoft.
Multicore	Microprocesador que combina dos o más procesadores independientes en un solo paquete
Procesador	Componente del computador que interpreta las instrucciones contenidas en los programas y procesa los datos
Radioide de arcos	Ver espiral de Corniú
Simulación	Una simulación se define como el cálculo de la posición del tren, su velocidad, su consumo a lo largo de todo su recorrido para los instantes de tiempos simulados de las circulaciones en el entorno virtual del prototipo.
Software	Conjunto de componentes lógicos necesarios que hacen posible la realización de tareas específicas, en contraposición a los componentes físicos
Subestación eléctrica	Instalación destinada a modificar y establecer los niveles de tensión de una infraestructura eléctrica
Unión Europea	Conjunto de países que se encuentran en el continente europeo. Tienen relaciones comunes en el interés de todos ellos.

Tabla 1 - Tabla de términos

1.7.2 Siglas y acrónimos

Acrónimo	Significado
ADIF	Administrador de Infraestructuras Ferroviarias
ARCOS	Grupo de investigación de arquitectura de computadores, comunicaciones y sistemas de la UC3M.
GIF	Graphic Interchange Format
GPS	Global Positioning System. Sistema global de posicionamiento. Tecnología que permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto.
IVA	Impuesto de Valor Añadido
JPEG	Join Photographic Experts Group
RENFE	Red Nacional de Ferrocarriles Españoles
UTM	Universal Transverse Mercator
WMS	Web Map Service

Tabla 2 - Tabla de siglas y acrónimos



ESTADO DEL ARTE

2 Estado del arte

En esta sección se hace referencia del estado de la tecnología actual en el campo. En esta sección se hablará del estado actual de:

- Simuladores ferroviarios: Se hace referencia a la situación actual en el campo de los simuladores ferroviarios.
- Georreferenciación: Se hace referencia a la situación actual de sistemas de referencia geodésica.

2.1 Estado del arte de simuladores ferroviarios

El estudio de problemas de ingeniería y resolución a éstos por medio de simulación ha sido muy utilizado en el último siglo. Gracias al estudio de un problema por simulación algunos inventos pudieron ver la luz un tiempo antes que por ejemplo se llegara a la solución del problema por medio del caso prueba y error. A lo largo de la historia podríamos mencionar a muchos inventores que por medio de la simulación llegaron a la solución del problema pero vamos a destacar a los hermanos Wright [23]. Pese a que se dedicaban originalmente a la fabricación de bicicletas llegaron a la solución de cómo hacer un avión que vuele e incluso diseñaron varios prototipos que volaron por medio de simulación de pruebas de distintos perfiles de alas en túneles de viento, estas pruebas también concluyeron a la invención del concepto de alabeo de las alas de los aviones. En el otro lado estaban todos aquellos inventores de su misma época que llevaban muchos más años intentando diseñar una máquina voladora por medio de casos de prueba y error. En ocasiones, tras un ensayo el prototipo de máquina voladora quedaba gravemente dañado.

La principal ventaja de la simulación es que suponen un menor coste para cada experimento, realización de múltiples ensayos en poco tiempo no siendo necesario el montaje de infraestructuras completas para los ensayos y lo más importante evita daños en el prototipo en pruebas. La simulación informatizada por ordenador ha comenzado a utilizarse con la extensión de las computadoras.

La utilización de herramientas de simulación en el campo ferroviario no es ninguna excepción. Existen herramientas de simulación como la de Bae [24], que simula de manera efectiva la localización óptima de instalaciones eléctricas. Baneriee [25] propuso un modelo mediante grafos para estudiar la estabilidad y comportamiento del tren sobre las vías. Yalcinkaya [26] muestra una herramienta de simulación para calcular el horario factible para un conjunto de trenes.

Este proyecto fin de grado se encuentra integrado dentro de un simulador desarrollado para Adif por un equipo el equipo de trabajo ARCOS del departamento de informática de la Universidad Carlos III.

El desarrollo del simulador se encuentra en un estado muy avanzado de desarrollo. El prototipo de simulador responde al nombre de SYCE. SYCE es un simulador de cálculo energético en infraestructuras eléctricas.

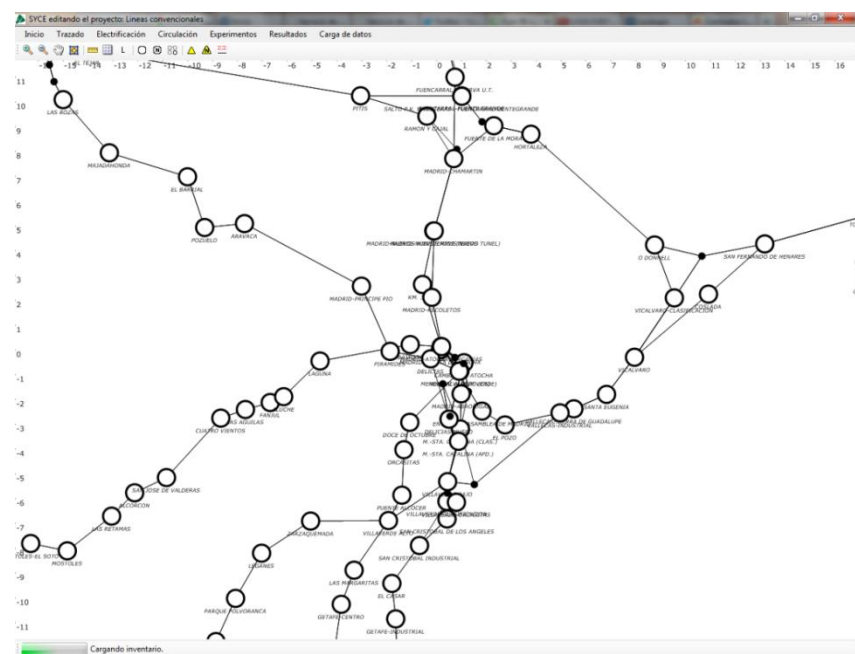


Ilustración 13 - Prototipo SYCE. Se muestran de manera esquemática las vías de Madrid

Este año ha habido se han presentado dos colaboraciones de trabajos de fin de grado para este simulador. Los proyectos de fin de grado presentados han sido:

- Simulación del movimiento de trenes para minimizar el consumo energético y optimización para plataformas multicore [22].
- Desarrollo de un simulador de tráfico ferroviario sobre cartografía descargada directamente.

El primer proyecto enumerado, simulación del movimiento de trenes para minimizar el consumo energético y optimización para plataformas multicore, ha sido desarrollado por Manuel Muñoz Archidona [20] presentado en Julio de 2012 y supone la creación de un algoritmo que calcula el consumo y el movimiento de un tren bajo una infraestructura ferroviaria real. Dada que la ejecución de un algoritmo de semejantes características supone una enorme carga computacional se planteó la necesidad de usar computación en paralelo.

El segundo proyecto enumerado, desarrollo de un simulador de tráfico ferroviario sobre cartografía descargada directamente, se trata del proyecto de esta obra. Este proyecto toma datos que da por salida el algoritmo del anterior proyecto citado y tratará de dibujar el punto donde está situado el tren sobre imágenes de mapas cartográficos.

Tras la puesta en producción de ambos proyectos. SYCE pasa de ser un simulador de cálculo energético en infraestructuras eléctricas a ser un simulador de cálculos energéticos en infraestructuras ferroviarias y simulación de circulación.

2.2 Estado del arte en la georreferenciación

En esta sección se hará una visión actual de los sistemas de georreferenciación incluidos en la ciencia de la geodesia.

2.2.1 Geodesia

La definición de geodesia que podemos encontrar en el diccionario de la Real Academia Española [27] de la lengua es: “Ciencia matemática que tiene por objeto determinar la figura y magnitud del globo terrestre o de gran parte de él, y construir los mapas correspondientes.”

Otra definición más extensa publicada por la Universidad Estatal de Ohio [28] es: “Ciencia interdisciplinaria que utiliza sensores remotos transportados en satélites espaciales y plataformas aéreas y mediciones terrestres para estudiar la forma y las dimensiones de la Tierra, de los planetas y sus satélites así como sus cambios; para determinar con precisión su posición y la velocidad de los puntos u objetos en la superficie u orbitando el planeta, en un sistema de referencia terrestre materializado, y la aplicación de este conocimiento a distintas aplicaciones científicas y técnicas, usando la matemática, la física, la astronomía y las ciencias de la computación”

Con estas definiciones podemos hacernos la idea de que se trata de una ciencia que estudia todo lo relacionado con la cartografía y sistemas de georreferenciación en nuestro planeta.

2.2.2 Geoide y elipsoide

Nuestro planeta se presenta de forma simplificada mediante una figura geométrica denominada elipsoide, aunque en la realidad el planeta tiene forma muy irregular en su superficie.

Debido a que el geoide se trata de una forma complicada y difícil de manejar a la hora de trabajar con cualquier sistema de cartografía y navegación. La geodesia aproximó el geoide a una figura geométrica regular denominada elipsoide.

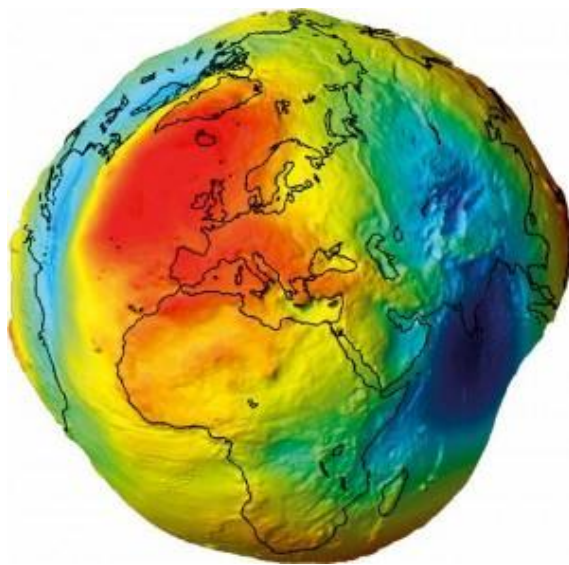


Ilustración 14 - Geoide [29]

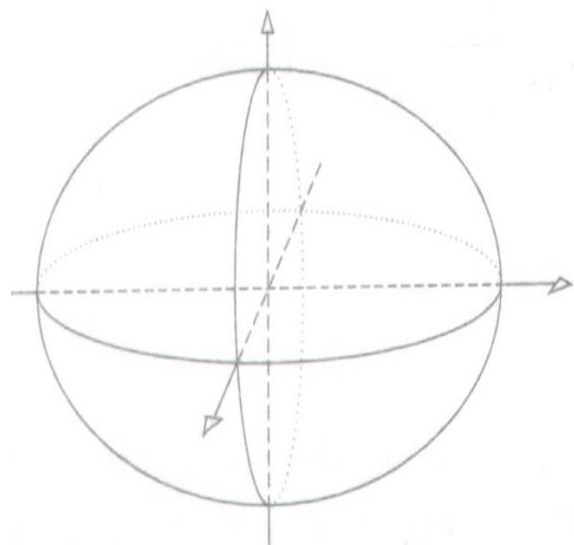


Ilustración 15 - Elipsoide [30]

La aproximación del geoide a elipsoide introduce un error de correspondencias entre coordenadas que se establezcan en la figura real y en la figura teórica.

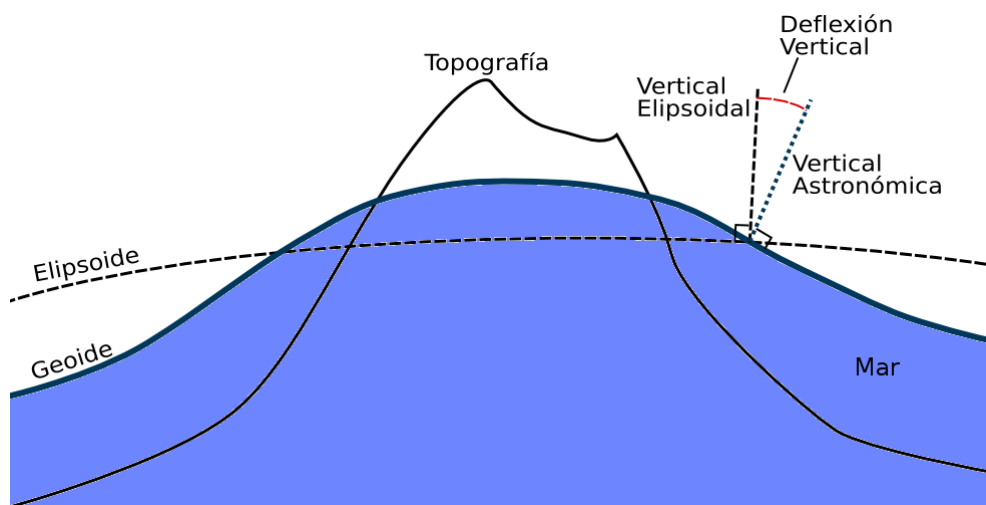


Ilustración 16 - Diferencia entre geoide y elipsoide [31]

Estas diferencias plantean dificultades para la cartografía. En determinados casos la vertical elipsoidal no puede coincidir con la vertical astronómica lo cual presentaría incongruencias entre altitudes similares.

2.2.3 Datums de referencia

Como se ha afirmado en la anterior sección, cuando el elipsoide aproxima al geoide la no uniformidad del geoide provoca que áreas del mismo plano representen distinta superficie. Por esto resulta conveniente utilizar un elipsoide tal que sus coordenadas coincidan con la realidad. Esto no es posible debido a la irregularidad del geoide, únicamente se conseguirán ajustes en un punto o zona local, esta zona es conocida como zona de ajuste y resulta en ella que la superficie del geoide y del elipsoide son prácticamente coincidentes.

Cuando un elipsoide se ajusta prácticamente al geoide en una zona local, no se garantiza que lo sea en todos los puntos del geoide, debido a toda su irregularidad, de este hecho surgen numerosos radios de ajustes y achatamiento del elipsoide para definir distintos lugares del geoide.

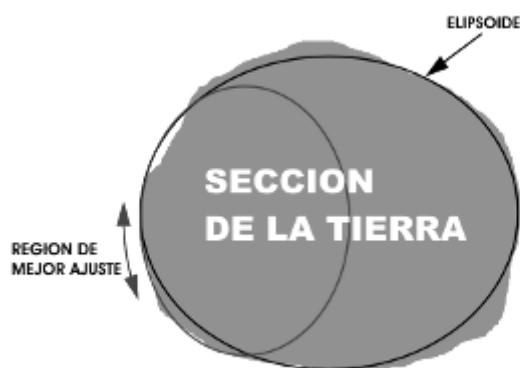


Ilustración 17 - Región de mejor ajuste de elipsoide [32]

Los parámetros por los que se define el elipsoide que envuelve al geoide son tres:

- Semieje mayor de la elipse (a)
- Semieje menor de la elipse (b)
- Factor de achatamiento (f)

Un datum de referencia serán una serie de valores de los parámetros del elipsoide que mejor se adaptan a las necesidades de su zona pero que no suelen ser aplicables a otras partes del mundo.

Algunos datums de referencia aplicables a distintas zonas del mundo son:

Nombre	a (m)	b (m)	1 / f
Australian National	6.378.160,000	6.356.774,719	298,250000
Bessel 1841	6.377.397,155	6.356.078,963	299,152813
Clarke 1866	6.378.206,400	6.356.583,800	294,978698
Clarke 1880	6.378.249,145	6.356.514,870	293,465000
Everest 1956	6.377.301,243	6.356.100,228	300,801700
Fischer 1968	6.378.150,000	6.356.768,337	298,300000
GRS 1980	6.378.137,000	6.356.752,314	298,257222
International 1924 (Hayford)	6.378.388,000	6.356.911,946	297,000000
SGS 85	6.378.136,000	6.356.751,302	298,257000
South American 1969	6.378.160,000	6.356.774,719	298,250000
WGS 72	6.378.135,000	6.356.750,520	298,260000
WGS 84	6.378.137,000	6.356.752,314	298,257224

Tabla 3 - Datums de referencia

En España, donde nos interesa localmente, hasta el año 2007 oficialmente se usaba el datum de referencia ED50 (International 1924, también conocida como “Hayford-Ellipsoid”), en la actualidad en España y en toda Europa se utiliza el datum de referencia ETRS89

Recordemos que cualquier método transforma todos los puntos del planeta con mayor o menor exactitud, los errores de precisión son pequeños frente a todo el acierto. Por ejemplo en Europa oficialmente está establecido ETRS89 (radios de elipsoides y factor de achatamiento óptimos para la geolocalización en Europa), sin embargo los dispositivos navegadores GPS (Sin un sistema Galileo corrigiendo la localización a una referencia ETRS89) utilizan un sistema de referencia WGS84 (Sistema óptimo para América del Norte) y tenemos un error de algunos milímetros o centímetros en la localización con el dispositivo GPS.

2.2.3.1 Referenciación por sistema de coordenadas geográficas

La georreferenciación por medio un sistema de coordenadas geográficas es un sistema de referencia que utiliza dos coordenadas angulares para determinar un punto en la superficie terrestre. Estas dos coordenadas angulares son medidas desde el centro del planeta.

Lo más común es que se expresen las coordenadas en grados hexadecimales.

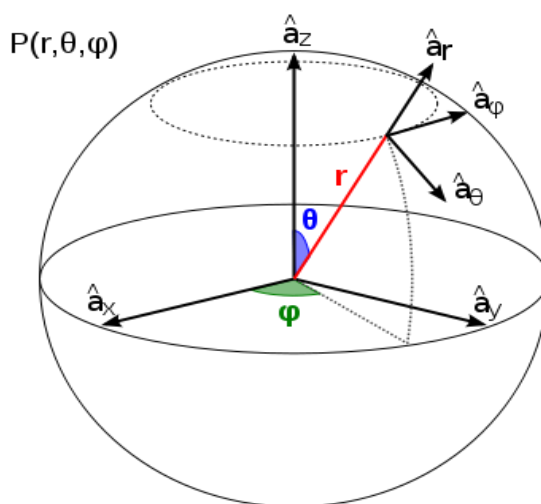


Ilustración 18- Funcionamiento del método mediante sistema de coordenadas [33]

La latitud mide el ángulo entre cualquier punto y el ecuador. Las líneas de latitud se llaman meridianos y son círculos que cortan al ecuador de la superficie del planeta. Aquellos puntos que se encuentran al norte del ecuador reciben la denominación Norte (N) y los que están al sur del ecuador reciben la denominación Sur (S). La latitud se mide de 0° a 90° donde al ecuador le corresponde la latitud 0° y a los polos les corresponde 90° .

La longitud mide el ángulo a lo largo del ecuador desde cualquier punto del planeta. Por convenio se acepta Greenwich, en Londres como longitud 0° de la longitud. El valor de longitud va de -180° hasta 180° . Las longitudes al oeste del meridiano de Greenwich son negativas y al este del meridiano son positivas.

Este método de georreferenciación es ampliamente utilizado en localización de puntos en la superficie terrestre de nuestro planeta.

2.2.3.2 Referenciación por sistema de proyección UTM

El sistema de referenciación por sistema de proyección UTM es un sistema de proyección que consiste en la transformación de la superficie curva del elipsoide en una superficie plana.

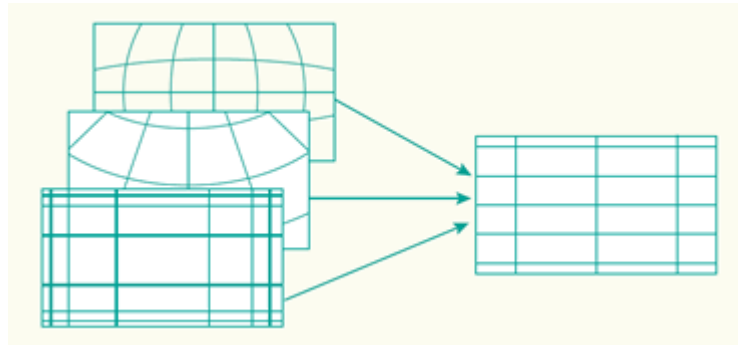


Ilustración 19 - Transformación de una esfera a plano [34]

Puesto que la adaptación matemática de la superficie de un elipsoide a un plano no es inmediata, las proyecciones cartográficas plantean anomalías:

- Puede no conservar los ángulos de la malla formada. A las proyecciones que si conservan los ángulos se les llama proyecciones conformes.
- Puede no conservar las áreas de las cuadrículas de la malla formada. A las proyecciones que si conservan las áreas se les denomina proyecciones equivalentes.

Es deseable que una proyección cartográfica cumpla ambas propiedades, desgraciadamente ambas propiedades son incompatibles entre sí. La Ilustración 21 - Proyecciones Mollweide (equivalente) y Mercator (conforme) muestra el contraste entre una proyección conforme con una proyección equivalente. En la imagen se puede visualizar la deformación, África se encuentra de un tamaño muy reducido, nada que ver con la realidad, y por otro lado se puede ver el enorme tamaño del continente Antártico.



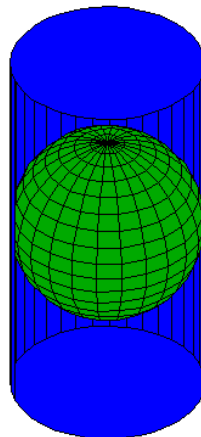
Mollweide-Projektion



Mercator-Projektion

Ilustración 20 - - Proyecciones Mollweide (equivalente) y Mercator (conforme) [35]

Un subtipo de la proyección es la llamada proyección cilíndrica. En este tipo de proyección se utiliza un cilindro para proyectar el elipsoide terrestre. El cilindro se sitúa tangencialmente al elipsoide haciendo coincidir el eje del cilindro con el eje polar. Se desenrolla el cilindro presentando el mapa en un rectángulo. Las líneas horizontales de la malla del mapa las forman los paralelos y las líneas verticales de la malla están compuestas por los meridianos. Debido a las características de la proyección, en latitudes más altas las latitudes están separadas por mayor distancia. La proyección cilíndrica es, por tanto, una proyección conforme.

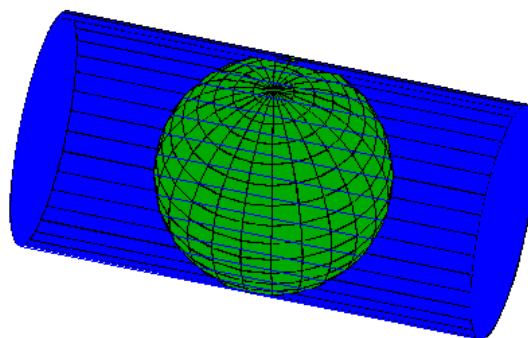


Peter H. Dana 9/20/94

Cylindrical Projection Surface

Ilustración 21 - Proyección cilíndrica [36]

El sistema de coordenadas UTM utiliza como idea base la proyección cilíndrica aunque de manera distinta. En el sistema de coordenadas UTM el elipsoide es proyectado sobre un cilindro en el que el eje del cilindro es transversal al plano de los polos. Ver ilustración 23.



Peter H. Dana 10/01/94

Transverse Cylindrical Projection Surface

Ilustración 22 - Proyección cilíndrica transversal [37]

La proyección cilíndrica normal, zonas con latitudes muy altas se proyectaba en los extremos del cilindro y quedaban muy distorsionadas con respecto a la realidad, como se comentó antes, del caso del continente africano o la Antártida.

Luego estaba el caso de la proyección cilíndrica transversal, en la que las zonas más distorsionadas eran las que se encontraban más lejos del meridiano central.

La solución que se dio a este problema consistió en dividir el planeta en 60 husos de 6° cada uno, repitiéndose la proyección en cada uno tomando como meridiano central el meridiano que atravesaba el centro de cada uno.

Debido a que los paralelos se van separando a medida que la proyección se aleja del ecuador solo se representa el área del planeta situada entre los paralelos 80° N y 80° S.

En la ilustración 24 se muestra el plano UTM dividido en cuadrícula de 6° de longitud 8° de latitud. Los polos norte y sur, con paralelos superiores a los 80° quedan fuera de la representación UTM.

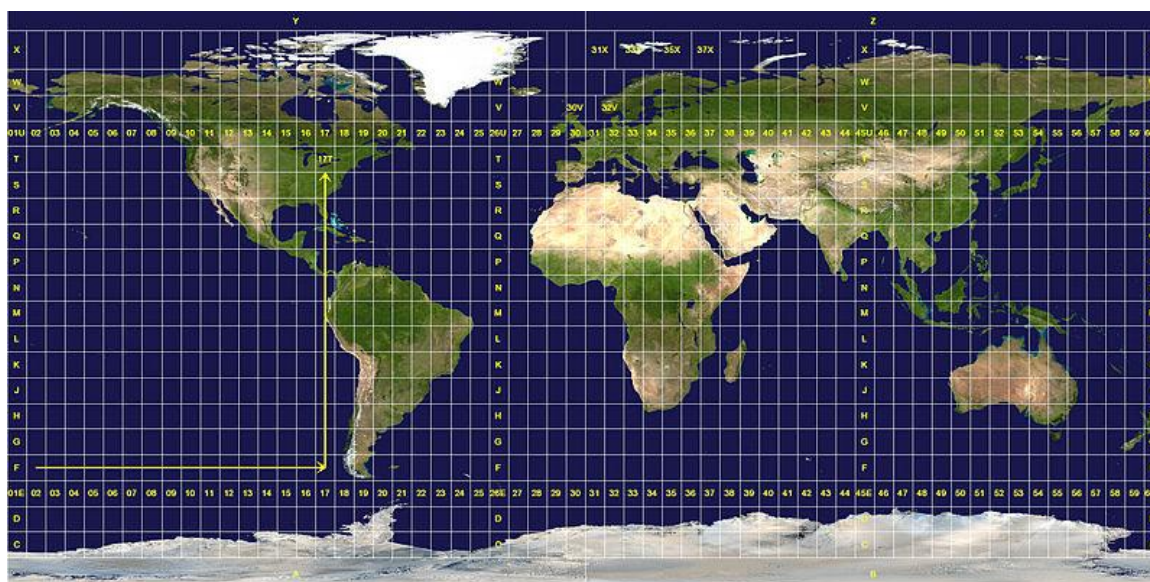


Ilustración 23 - Zonas y husos UTM [38]

La ubicación de un punto en coordenadas UTM se representa mediante un huso, un valor X, que representa el desplazamiento horizontal con respecto al meridiano central del huso, y un valor de Y, que presenta el desplazamiento vertical en el huso desde el ecuador. El desplazamiento se realiza en la unidad de longitud del sistema internacional, el metro.

Cabe destacar que para evitar desplazamientos negativos desde el meridiano central de un huso, el meridiano se ajusta a 500.000 metros. De esta manera el meridiano central, que tendría un valor de 0 metros, tiene un valor de 500.000 metros.

Igual que ha ocurrido en los meridianos, en los paralelos corre lo mismo, para evitar valores negativos, el ecuador al que le correspondería el valor 0 se le ajusta a 10.000.000 metros.

Debido a la modificación realizada a las coordenadas Y para evitar valores negativos, se debe conocer en todo momento en que hemisferio estamos situados cuando se está trabajando con el sistema de coordenadas UTM. Una misma coordenada Y puede referirse a dos puntos, uno en cada hemisferio.

Finalmente podemos enunciar que una posición en el sistema de coordenadas UTM se compone de los siguientes campos:

- Coordenada X: Desplazamiento horizontal respecto al meridiano central del Huso. Balanceado.
- Coordenada Y: Desplazamiento vertical respecto al ecuador. Balanceado.
- Huso: Huso horario (1-60).
- Hemisferio: Norte o sur.

Cabe destacar que el sistema UTM no representa la altitud, ya que realiza una proyección en 2D. Por tanto, todos los puntos se refieren a la superficie terrestre, sin importar si esta está a mayor o menor altitud con respecto al nivel del mar o al elipsoide de referencia.

2.3 Servidores de mapas

Los servidores de mapas, se tratan de servidores que proveen cartografía digital. En internet podemos encontrar distintos servidores de cartografía adaptadas a diferentes necesidades.

Los sistemas más populares que podemos encontrar es el de descarga de imágenes tomadas desde satélite o avionetas, aunque también existen otros que no resultan ser imágenes de la realidad, sino de mapas esquemáticos como mapas de carreteras, jurisdicciones de municipios o de catastro de propiedades.

Los servidores por regla general suelen servir múltiples formatos de imágenes, como JPEG, GIF, PNG. Los formatos de imágenes admitidos por el servidor, la resolución de los mapas, las capas disponibles vienen definidos en el servidor y puede ser solicita todas sus propiedades.

2.3.1 Servidores WMS

Web Map Service es una definición de servicio de descarga de imágenes de mapas en el protocolo HTML y XML. El acceso a la localización del mapa se especifica en la URL con la que es solicitada la imagen del mapa.

Descargar imágenes de un servidor con servicio WMS debemos de conocer la dirección URL de éste, en nuestro caso vamos a utilizar PNOA, del Ministerio de Fomento. Su dirección web es esta:

<http://www.idee.es/wms/PNOA/PNOA>

A la dirección, debemos de añadirle qué servicio deseamos utilizar en el servidor, por lo que debemos de especificárselo. Para utilizar el servicio WMS de PNOA debemos de conectarnos a la URL:

<http://www.idee.es/wms/PNOA/PNOA?service=WMS>

Si hemos accedido a la anterior página, nos habrán devuelto un error, esto es debido a que no hemos especificado una solicitud. Por ejemplo, ahora vamos a enviar una solicitud de las capacidades que tiene el servidor, nos devolverá en formato XML todas las propiedades y capacidades del servicio instalado en el servidor.

<http://www.idee.es/wms/PNOA/PNOA?service=WMS&request=GetCapabilities>

Si en lugar de solicitar las capacidades deseáramos solicitar un mapa, en el apartado de solicitud (request) deberíamos solicitar un mapa:

<http://www.idee.es/wms/PNOA/PNOA?service=WMS&request=GetMap>

Aunque la solicitud se encuentra incompleta, así sería parte de la dirección URL para solicitar un mapa. Una URL de solicitud de mapa en un servidor WMS requiere 13 parámetros que vamos a enumerar. En el archivo XML se ven todas las propiedades y capacidades que puede el servidor.

PARÁMETROS DE SOLICITUD DE MAPAS DE SERVIDOR WMS	
SERVICE	Servicio que deseamos utilizar del servidor
REQUEST	Solicitud del tipo de información que queremos solicitar al servidor.
VERSION	Versión del servicio WMS que deseamos utilizar, como en muchos servicios, una versión superior siempre es retrocompatible con versiones anteriores.
TRANSPARENT	En caso de que sea admitido por el formato de salida, si en caso de que no exista representación del mapa descargado, la zona no representada sería transparente.
BGCOLOR	Color de fondo. Si no existiera representación de mapa descargado en una zona, esa zona estaría pintada del color solicitado.
LAYERS	Capas visibles del mapa. También sirven para marca que objetos se desean sobrepuestos en el mapa.
STYLES	Opciones de las capas.
EXCEPTION	Indica el formato de salida de los errores.
FORMAT	Indica el format de salida del mapa
SRS	Indica el datum que se utiliza
BBOX	Se indica el area de mapa que se desea ser descargado.
WIDTH	Ancho en píxeles de la imagen descargada
HEIGHT	Alto en píxeles de la imagen descargada

Tabla 4 - Parámetros de solicitud de mapas de servidores WMS

Así por ejemplo, la solicitud de una imagen de mapa de la estación de Madrid-Chamartín es: http://www.ideo.es/wms/PNOA/PNOA?TRANSPARENT=True&VERSION=1.1.1&BGCOLOR=0xFFFF&SERVICE=WMS&REQUEST=GetMap&STYLES=default&EXCEPTIONS=application/vnd.ogc.se_xml&FORMAT=image/jpeg&LAYERS=pnoa&SRS=EPSG:23030&BBOX=442000,%204480000,%20444000,4482000&WIDTH=500&HEIGHT=500



Ilustración 24 - Imagen de mapa de servidor PNOA de la estación de Madrid-Chamartín



ASPECTOS TÉCNICOS

3 Aspectos técnicos

3.1 Infraestructura ferroviaria

La infraestructura es el elemento clave para el movimiento de los trenes. Se incluyen en ella todos los elementos estáticos existentes en las instalaciones.

3.1.1 Vía

Se trata de la parte de la infraestructura ferroviaria formada por un conjunto de rieles (comúnmente dos) dónde se desplazan las ruedas del tren y además pueden servir como dispositivo de guiado y elemento conductor de la corriente eléctrica. Estos rieles se encuentran apoyados sobre traviesas (comúnmente de madera) sobre una capa de balasto. Si los vehículos que van a circular sobre ella son eléctricos, la vía viene acompañada toda por una catenaria o bien por un tercer carril.



Ilustración 25 - En la imagen se puede ver una vía compuesta por dos rieles apoyado sobre traviesas sobre una capa de balastos [39]

Una vía tiene definido un ancho que permanecerá fijo a lo largo de toda la vía, en determinados tramos podrá compartir un ancho adicional a través de la instalación de un tercer carril. Adicionalmente se define con un punto de origen y un punto de destino.

A lo largo de su longitud se pueden definir distintas secciones debido al cambio de determinadas propiedades de la vía como por ejemplo la velocidad máxima de circulación del tren.

3.1.2 Estaciones

Las estaciones se tratan de un punto de interés en el que un tren puede detenerse para cambio de viajeros, carga o descarga de mercancías, un cambio de vía, tareas de mantenimiento y de repostaje o de espera apartado de la vía principal a que un tren más veloz le adelante o pase un tren en sentido contrario (esto último ocurre en instalaciones de una sola vía en la que esa vía es utilizada para ambos sentidos).

Las estaciones se distinguen según la utilización que se les da. Pero aparte de eso no existe ninguna distinción en cuánto al elemento que es y por tanto a efectos de la aplicación de simulación no tienen ninguna distinción.

TIPO DE ESTACIONES	
Apartadero	Lugar de espera del tren separado de la vía principal en el que el tren espera para ser adelantado por un tren de mayor velocidad o pase un tren en sentido contrario.
Apeadero	Lugar de bajada y subida de viajeros. No necesariamente existen instalaciones de control de circulación, desvíos ni señales.
Bifurcación	Lugar en el que la vía se divide en dos dando el origen a una segunda vía.
Estación	Instalación con vías ferroviarias desde la que se pueden expedir trenes. Disponen de instalaciones de control de circulaciones, señales de control de tráfico y posibilidad de desvíos. Adicionalmente pueden disponer de andenes para el cambio de pasajeros y muelles de subida y bajada de mercancías.
Cargadero	Lugar donde se dispone de un muelle de subida y bajada de mercancías.
Apartadero-cargadero	Apartadero en el que adicionalmente se dispone de un muelle para poder subir y bajar mercancías.

Tabla 5 - Tipo de estaciones según su función



Ilustración 26 - Estación de Madrid-Chamartín [40]

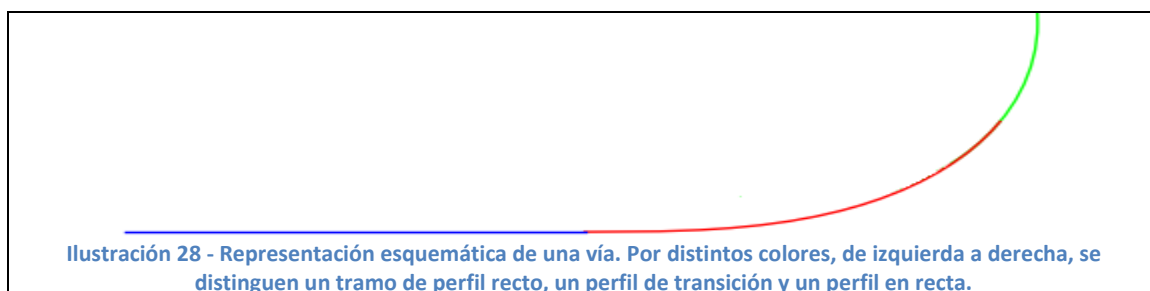


Ilustración 27 - Apeadero de La Cantábrica [41]

3.1.3 Perfiles en planta

Los perfiles en planta dividen a la vía en secciones más pequeñas cuándo esta cambia de geometría. Un perfil en planta tiene un punto kilométrico de inicio, uno final y un tipo de geometría. Los puntos kilométricos se miden en el centro del ancho de separación de los rieles.

TIPO DE PERFILES EN PLANTA	
Perfil en recta	Los rieles se extienden en una misma dirección.
Perfil en curva	Los rieles varían de dirección paulatinamente de forma circular con un radio de giro.
Perfil en transición	<p>Los perfiles de transición tienen como base un elemento geométrico denominado clotoide []. Sirven como perfil de transición entre recta y una curva, entre una curva y una recta o entre dos curvas con distinto diámetro.</p> <p>En los primeros ferrocarriles debido a sus bajas velocidades y grandes radios de giros pasaron inadvertidos. Esto sería ignorado hasta el siglo XIX cuando los incrementos de velocidad obligaban daban la necesidad de curvas que cambien gradualmente la curvatura debido a los descarrilamientos de las máquinas.</p>



3.1.4 Perfiles en alzado

Los perfiles en alzado dividen a la vía en secciones más pequeñas cuándo esta cambia de pendiente. Un perfil en alzado viene definido por un punto kilométrico de inicio, un punto kilométrico de fin y el valor de la pendiente.

3.1.5 Tramos de velocidad

Los tramos de velocidad dividen a la vía en secciones más pequeñas en el que se comparte en el tramo la misma velocidad máxima de circulación de trenes. Consecuente el tren nunca superará dicha velocidad y circulará a aquella velocidad que mejor se adapte a las características de la vía, su peso y sus características.

Los tramos de velocidad vienen definidos por su punto kilométrico de inicio, punto kilométrico de fin y velocidad máxima autorizada.

3.1.6 Túneles

Es posible que a lo largo del recorrido de las vías se encuentren obstáculos únicamente pueden ser salvados atravesando un túnel. Atravesar un túnel supone una resistencia distinta de avance, esta resistencia no es igual en todos los túneles sino una característica de la construcción de éste. Un túnel viene definido por un punto kilométrico inicial, punto kilométrico final y la resistencia.

3.1.7 Tramos de carril

Los tramos de carril dividen a la vía en secciones en las que se comparte el mismo modelo de riel. Estos cambios de rieles pueden venir debido a pasos a nivel de vehículos, propiedades eléctricas o determinadas características del material de fabricación del riel le hacen más óptimo al lugar donde se encuentra instalado. Un tramo de carril viene definido por un punto kilométrico de inicio, un punto kilométrico de final y el modelo de riel instalado.

3.2 Aspectos técnicos eléctricos de una instalación ferroviaria

La infraestructura eléctrica es un elemento esencial para el movimiento de los trenes eléctricos. Esta infraestructura eléctrica se compone de elementos estáticos, pero dado que existen trenes que no son eléctricos y no lo necesitan para su circulación lo separamos en esta sección.

3.2.1 Subestaciones

Una subestación es un centro de transformación de la electricidad que provee la compañía eléctrica al voltaje necesaria para el funcionamiento de los trenes eléctricos. También se disponen de generadores a diesel para en caso de problemas energéticos se puedan parar los trenes con seguridad.

Las subestaciones están conectadas por un polo eléctrico a la vía del tren y el otro polo está conectado a la catenaria que acompaña a la vía o al tercer carril. Depende del tipo de instalación y tren que circulará por ella.



Ilustración 29 - Alimentación de trenes por medio de catenaria [42]



Ilustración 30 - Alimentación de ferrocarril medio de tercer carril [43]

3.2.2 Seccionamientos

Un seccionamiento es un punto en la vía, en él que se aísla el contacto eléctrico. Esto se debe a que cada uno de los tramos aislados es alimentado por una subestación eléctrica distinta, evitando de esta manera sobretensión eléctrica. Una vía a lo largo de su recorrido puede haber sido alimentada por varias subestaciones eléctricas, la más cercana al tramo.



Ilustración 31 - Imagen de seccionamiento. En la imagen se puede visualizar postes con dos ménsulas cada uno que sustentan conductores de dos subestaciones eléctricas distintas [44]

3.2.3 Catenaria

La catenaria es el conjunto de todos los elementos colgantes que suministran la corriente eléctrica al tren. Para esta aplicación de simulación solo es necesario conocer la vía a la que está conectada la catenaria, el punto kilométrico de inicio, el punto kilométrico final, el tipo de conductor de contacto, el número de hilos de contacto y la subestación a la que se encuentra conectada.

Otros elementos que formar parte de la catenaria, pero que a efectos de cálculo en la aplicación no son necesarios son:

Elementos de la catenaria	
Feeders de acompañamiento	Se trata de un cable de tensión eléctrica que acompaña a la vía a lo largo de todo su recorrido. Suele ir en alto, colgado de poste en poste.
Feeders de acortamiento	Se trata de un feeder de acompañamiento pero que en el caso que la vía rodee un obstáculo o se desvíe para pasar un pueblo el cable sigue en línea recta y hasta que se vuelven a encontrar.
Feeder negativo	Feeder de corriente que se encuentra conectada con el polo negativo de la subestación.
Feeder positivo	También como feeder de subestación, feeder de corriente que se encuentra conectada en el polo positivo de la subestación.
Hilo de contacto	Hilo en el que roza pantógrafo del tren el cual obtiene la corriente eléctrica.
Hilo sustentador	Hilo que se encuentra tensado que sujeta el hilo de contacto para que éste no se caída.

Tabla 6 - Elementos de la catenaria

3.3 Aspectos técnicos de la circulación

Esta sección describe cuales son los elementos que forman parte de la circulación y qué elementos forman parte de ella.

3.3.1 Circulación

Una circulación se encuentra formada por dos elementos: un tren y un trayecto con horario. Una circulación comienza desde una estación a una hora y termina en otra con una hora de finalización de servicio. Cada estación intermedia que cruza a lo largo de su camino lleva asociado una hora de llegada que debe cumplir.

La velocidad a la que viaja el tren no es la máxima a la que puede ir el tren en el trayecto, si no la velocidad más baja con la que se cumplan los tiempos para ahorrar consumo energético.

3.3.2 Trenes

Los trenes son el conjunto de uno o varios vagones propulsados por un material motriz o un material motriz. Según el peso total del conjunto, la longitud, la carga el tren tendrá distintas características que son tenidas en cuenta en el algoritmo de circulación para determinar la velocidad que debe tener en el trayecto o como tomar las curvas.



Ilustración 32 – Automotor Civia [45]

3.3.2.1 Material Motriz

El material motriz es aquel vehículo que tiene capacidad tractora. A él se le pueden unir otros vehículos que son remolcados.

Se distinguen dos tipos de materiales motrices:

- Locomotoras: Se trata de un material rodante provisto de motor que se utiliza para dar tracción a los trenes. Se encuentran formados por una única unidad cuya fuerza de tracción o propulsión permite mover o empujar el resto de vagones enganchados a ella.
- Automotores: Se tratan de un material rodante autopropulsado provisto de motores. Suelen estar formados por varias unidades semipermanentemente unidas y articuladas. Un automotor suele tener dos cabezas motrices, una en cada extremo para ser conducido en el sentido por el que circula. Adicionalmente permiten ser acoplados varios automotores.



Ilustración 33 - Locomotora de la serie 253 [46]



Ilustración 34 - Automotor de la serie 450 [47]

3.4 Trayectos

El trayecto es una lista de estaciones por las que debe pasar el tren a la hora prevista. A continuación se muestra un esquema del trayecto de una circulación.

Estación	Parada	Hora llegada	Hora salida	Tiempo de parada	Velocidad (Km/h)
EL ESCORIAL	<input checked="" type="checkbox"/>	21:14:00	21:15:00	00:01:00	140
LAS ZORRERAS-NAVALQUEJIGO	<input type="checkbox"/>	21:21:00	21:21:00	00:00:00	140
SAN YAGO	<input type="checkbox"/>	21:23:00	21:23:00	00:00:00	140
VILLALBA DE GUADARRAMA	<input checked="" type="checkbox"/>	21:27:00	21:28:00	00:01:00	140
GALAPAGAR-LA NAVATA	<input type="checkbox"/>	21:32:00	21:32:00	00:00:00	140
TORRELODONES	<input type="checkbox"/>	21:36:00	21:36:00	00:00:00	140
LAS MATAS	<input type="checkbox"/>	21:40:00	21:40:00	00:00:00	140
PINAR DE LAS ROZAS	<input type="checkbox"/>	21:44:00	21:44:00	00:00:00	140
BIF. P. PIO	<input type="checkbox"/>	21:46:00	21:46:00	00:00:00	140
EL TEJAR	<input type="checkbox"/>	21:47:00	21:47:00	00:00:00	140
PITIS	<input type="checkbox"/>	21:57:00	21:57:00	00:00:00	140
RAMON Y CAJAL	<input type="checkbox"/>	22:01:00	22:01:00	00:00:00	140
MADRID-CHAMARTIN	<input checked="" type="checkbox"/>	22:06:00	22:06:00	00:00:00	140

Ilustración 35 - Trayecto con las horas de llegadas a las estaciones y salida

En la siguiente ilustración se muestra marcado en color rojo parte del recorrido del trayecto que circula desde la estación de "El Escorial" hasta la estación de "Madrid-Chamartín"

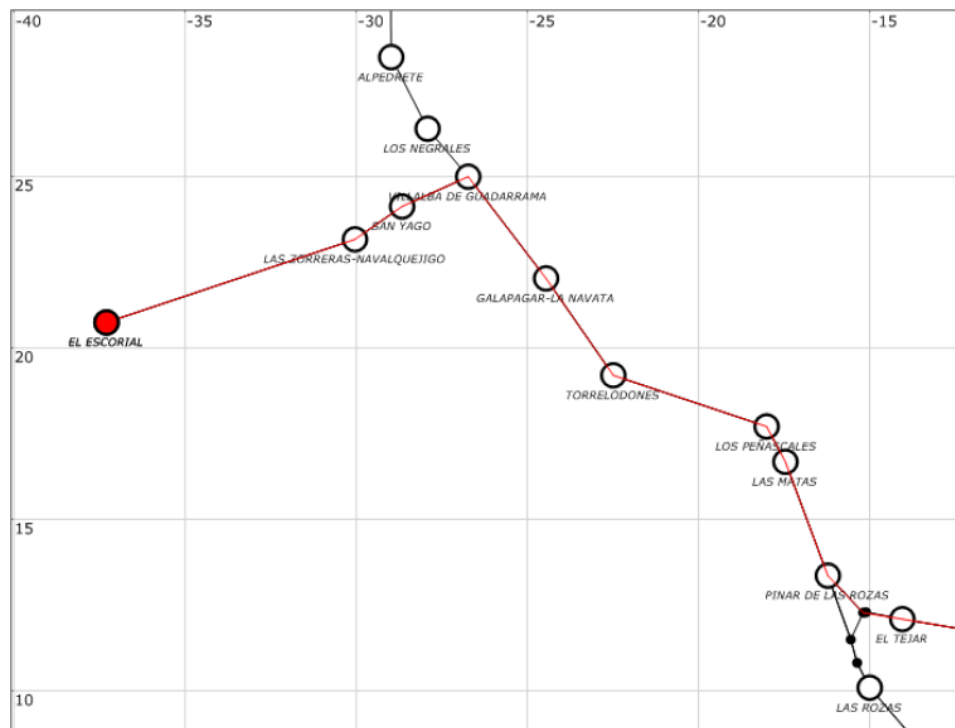


Ilustración 36 - Circulación desde la estación de "El Escorial" a "Madrid-Chamartín"





ANÁLISIS DEL SISTEMA

4 Análisis del sistema

En esta sección se van a detallar las características del sistema, qué se desea y de qué modo para facilitar el desarrollo por parte del equipo de diseño. Aquí se detalla todo lo necesario para desarrollar el sistema que satisface la solución.

En esta sección se presentan:

- Casos de uso
 - o Diagrama de casos de uso
 - o Descripción textual de los casos de uso
- Requisitos de usuario
 - o Requisitos de capacidad
 - o Requisitos de restricción
- Especificación de requisitos de software
 - o Requisitos software funcionales
 - o Requisitos software no funcionales

4.1 Casos de uso

Aquí se representan las interacciones y comunicaciones por parte de los usuarios con la aplicación.

En este apartado se mostrará:

- Diagramas de casos de usos: Esquema pictográfico que gráficamente representa la interacción del usuario (actor) en el sistema (sistema) determinado en un contexto (escenario)
- Descripción textual de los caso de uso: Tienen el mismo funcionamiento que los diagramas de casos de uso pero se utiliza la palabra para describir las interacciones-

4.1.1 Diagramas de caso de uso

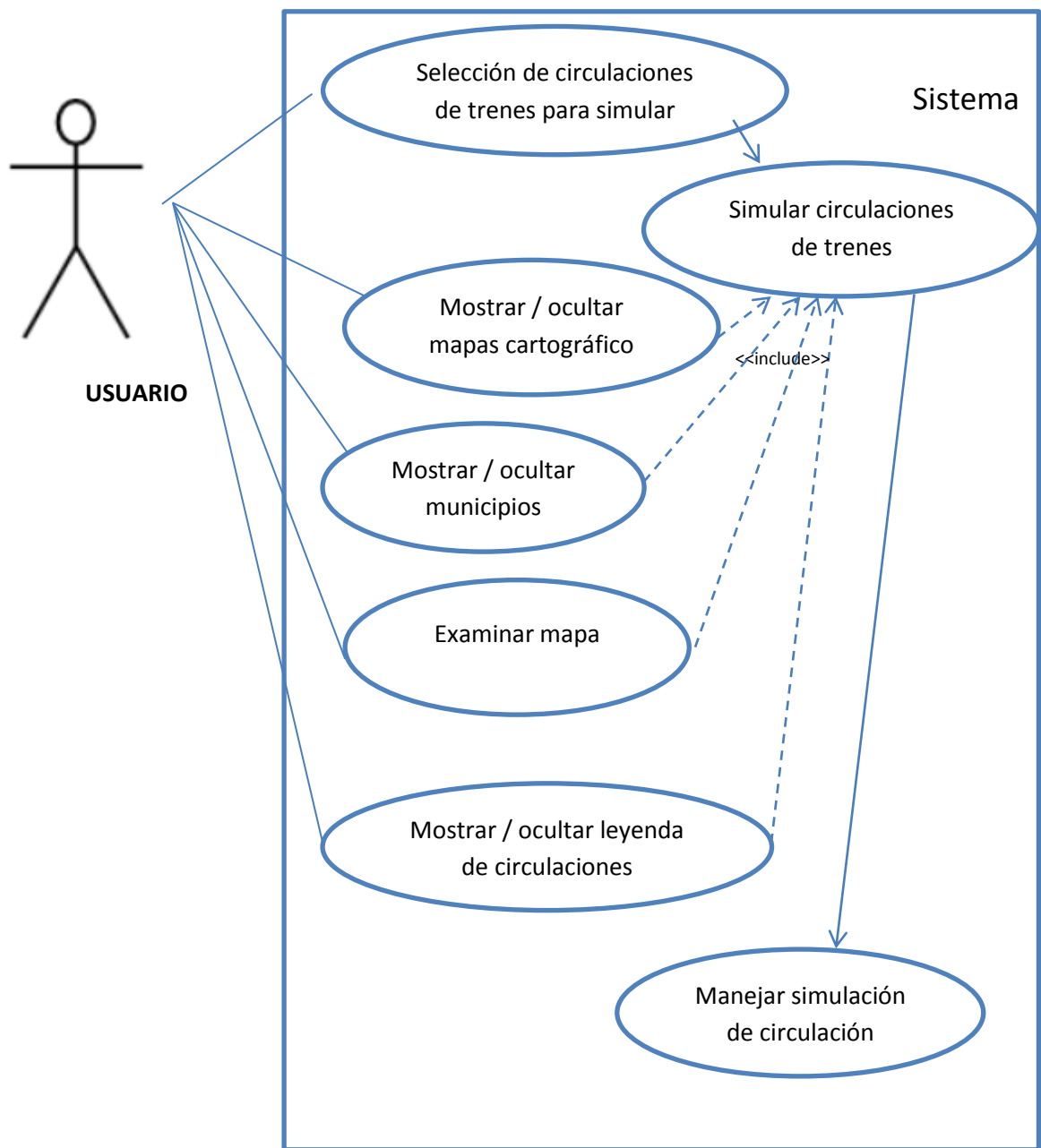


Ilustración 37.- Diagrama de Casos de Uso

4.1.2 Descripción textual de los casos de uso

En esta sección se describirán textualmente los casos de uso. Para organizar la información se hace el uso de tablas con los siguientes campos.

- Identificador: Identifica el caso de uso de manera única. Su formato de identificador es de la siguiente forma:
 - o El identificador es de la forma CUXX donde 'CU' se trata de una etiqueta invariable para todos los casos de uso y una etiqueta variable 'XX' que representa un número de dos cifras empezando por el caso número 1, con un 0 a la izquierda para completar que el número sea de dos cifras. La etiqueta variable se irá incrementando en una unidad por cada caso.
- Caso de uso: Indicará brevemente la tarea del caso de uso.
- Actor: Indicará el tipo de usuario o usuario que podrán interaccionar con el sistema en ese caso de uso.
- Objetivo: Breve descripción que explica que se va a conseguir con esa interacción del usuario en el sistema.
- Precondiciones: Condiciones iniciales que se deben de cumplir para que exista una interacción completa.
- Escenario normal: Se enumeran los pasos secuenciales para realizar el caso de uso.
- Escenario alternativo: Se enumeran los posibles flujos alternativos del flujo normal durante la realización del caso de uso.
- Postcondiciones: Condiciones finales que se quedan en el sistema tras la realización de ese caso de uso.

Identificador	CUXX
Caso de uso	
Actor	
Objetivo	
Precondiciones	
Escenario normal	
Escenario alternativo	
Postcondiciones	

Tabla 7 - Ejemplo de tabla textual de caso de uso

4.1.2.1 Tablas textuales de los casos de uso

Identificador	CU01
Caso de uso	Mostrar / ocultar mapas cartográficos
Actor	Usuario
Objetivo	El usuario puede decidir si quiere visualizar las imágenes de los mapas cartográficos en el sistema.
Precondiciones	- Debe de haberse creado o abierto un proyecto existente en la aplicación.
Escenario normal	- El usuario durante el uso del sistema puede elegir si desea visualizar o no las imágenes de mapas cartográficos de la posición en la que se encuentra.
Escenario alternativo	- El usuario durante una simulación de circulaciones de trenes puede elegir visualizar o no las imágenes de mapas cartográficos de la posición en la que se encuentra.
Postcondiciones	- Se muestran o dejan ocultos las imágenes de mapas cartográficos.

Tabla 8 - Tabla de caso de uso 1 - Mostrar / ocultar mapas cartográficos

Identificador	CU02
Caso de uso	Localización de municipios
Actor	Usuario
Objetivo	El usuario puede decidir si quiere visualizar la localización de los municipios.
Precondiciones	- Debe de haberse creado o abierto un proyecto existente en la aplicación.
Escenario normal	- El usuario durante el uso del sistema puede elegir si desea visualizar los municipios
Escenario alternativo	- El usuario durante una simulación de circulaciones de trenes puede elegir visualizar o no los municipios.
Postcondiciones	- Se marcan la localización de los municipios.

Tabla 9 - Tabla de caso de uso 2 - Localización de municipios

Identificador	CU03
Caso de uso	Mostrar / ocultar leyenda de circulaciones
Actor	Usuario
Objetivo	El usuario puede decidir si quiere visualizar la leyenda de las circulaciones seleccionadas.
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none"> - Debe de haberse creado o abierto un proyecto existente en la aplicación. - Para visualizar circulaciones en la lista en la leyenda deben de haberse seleccionado circulaciones, de otro caso aparecerá vacía hasta que no sean seleccionadas.
Escenario normal	<ul style="list-style-type: none"> - El usuario durante el uso del sistema puede elegir si desea visualizar la leyenda de circulaciones.
Escenario alternativo	<ul style="list-style-type: none"> - El usuario durante una simulación de circulaciones de trenes puede elegir visualizar la leyenda de circulaciones.
Postcondiciones	<ul style="list-style-type: none"> - Se muestra o se deja oculta la leyenda de las circulaciones.

Tabla 10 - Tabla de caso de uso 3 - Mostrar / ocultar leyenda de circulaciones

Identificador	CU04
Caso de uso	Examinar mapa
Actor	Usuario
Objetivo	El usuario puede examinar el mapa, en él podrá visualizar las instalaciones ferroviarias (Si se encuentra examinando en un punto del mapa que haya instalado). Adicionalmente si tiene activo la visualización de mapas cartográficos verá imágenes de la zona y en el caso que se estuviera simulando circulaciones las visualizaría si se encuentra examinando un lugar del mapa que pase por ella.
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none"> - Debe de haberse creado o abierto un proyecto existente en la aplicación.
Escenario normal	<ul style="list-style-type: none"> - El usuario se le permite navegar en el mapa visualizando las instalaciones ferroviarias.
Escenario alternativo	<ul style="list-style-type: none"> - El usuario, durante una simulación de circulaciones de trenes, puede navegar por el mapa visualizando las instalaciones ferroviarias, si existen en el campo de visión, y adicionalmente podrá visualizar circulaciones de trenes si pasan en el campo de visión.
Postcondiciones	<ul style="list-style-type: none"> - Se establece el estado de posición en la visualización del mapa.

Tabla 11 - Tabla de caso de uso 4 - Examinar mapa

Identificador	CU05
Caso de uso	Selección de circulaciones de trenes para simular
Actor	Usuario
Objetivo	<p>Se mostrará un listado de circulaciones disponibles para poder ser simuladas.</p> <p>El usuario podrá seleccionar aquella circulación deseada o todas aquellas que estime oportuno para ser simuladas.</p>
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none"> - Debe de haberse creado o abierto un proyecto existente en la aplicación. - Deben existir, al menos, una circulación de tren.
Escenario normal	<ul style="list-style-type: none"> - El usuario puede seleccionar una o varias circulaciones de trenes que han sido previamente validadas.
Escenario alternativo	<ul style="list-style-type: none"> - No existe escenario alternativo
Postcondiciones	<ul style="list-style-type: none"> - Se establecen circulaciones seleccionadas en un estado de la aplicación.

Tabla 12 - Tabla de caso de uso 5 - Selección de circulaciones de trenes para simular

Identificador	CU06
Caso de uso	Simular circulaciones de trenes
Actor	Usuario
Objetivo	Se muestra al usuario sobre el mapa, con los elementos visibles como han sido configurados, las circulaciones de trenes-
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none"> - Debe de haberse creado o abierto un proyecto existente en la aplicación. - Debe de haberse seleccionado, al menos, una circulación de tren.
Escenario normal	<ul style="list-style-type: none"> - Se muestra al usuario la simulación de las circulaciones de trenes que fueron seleccionadas. Adicionalmente si se encuentra activada la visualización de las imágenes de mapas cartográficos descargados éstas circulaciones se simularán sobre la infraestructura ferroviaria con las imágenes de mapas cartográficos de fondo. <p><i>Una simulación se define como el cálculo de la posición del tren, su velocidad, su consumo a lo largo de todo su recorrido para los instantes de tiempos simulados de las circulaciones en el entorno virtual del prototipo.</i></p>
Escenario alternativo	<ul style="list-style-type: none"> - No existe escenario alternativo
Postcondiciones	<ul style="list-style-type: none"> - No se establecen cambios

Tabla 13 - Tabla de caso de uso 6 - Simular circulaciones de trenes

Identificador CU07	
Caso de uso	Manejar simulación de circulación
Actor	Usuario
Objetivo	<p>Se le permite al usuario manejar opciones de reproducción de la simulación. Las opciones de reproducción de la simulación son:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reproducir: Dará comienzo la reproducción de la simulación de las circulaciones de los trenes. - Pausa: Se para la reproducción durante un tiempo hasta que se desee reanudar la reproducción de la simulación. - Reanudar: En caso de que la reproducción de la simulación se encontrara parada debido a la pausa, esta vuelve a ponerla en funcionamiento. - Acelerar: Aumenta la frecuencia con la que se refresca la reproducción, las circulaciones avanzarán a una velocidad mayor. - Desacelerar: Disminuye la frecuencia con la que se refresca la reproducción, las circulaciones avanzarán a una menor velocidad. - Interrumpir: Dará por finalizada la simulación de las circulaciones.
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none"> - Debe de haberse creado o abierto un proyecto existente en la aplicación. - Se encuentra simulando una o varias circulaciones.
Escenario normal	<ul style="list-style-type: none"> - Durante la simulación de circulaciones se permite al usuario variar opciones de reproducción en la simulación.
Escenario alternativo	<ul style="list-style-type: none"> - No existe escenario alternativo
Postcondiciones	<ul style="list-style-type: none"> - Se establecen cambios en la reproducción de la simulación durante toda la reproducción.

Tabla 14 - Tabla de caso de uso 7 - Manejar simulación de circulación

4.2 Especificación de requisitos de usuario

En esta sección se describirán las funcionalidades del comportamiento del sistema que se va a desarrollar. En esta sección se incluyen los siguientes tipos de requisitos:

- Requisitos de capacidad: Son el tipo de requisito que definen la funcionalidad que se debe de proporcionar.
- Requisitos de restricción: Son el tipo de requisito que indican propiedades que se deben de utilizar. Estos requisitos definen restricciones de tiempo, de rendimiento, de disponibilidad, de estabilidad, entre otros.

Para la especificación de estos requisitos se utilizan los siguientes campos:

- Identificador: Identifican cada requisito de manera única. Dependiendo del tipo de requisito su formato variará:
 - o Requisitos de capacidad: Su identificador será RUCXX, donde XX se trata de un número de dos cifras comenzando desde 01.
 - o Requisitos de restricción: Su identificador será RURXX, donde XX se trata de un número de dos cifras comenzando desde 01.
- Nombre: Explica de manera muy concisa el objetivo del requisito.
- Descripción: Breve explicación de en qué consiste el requisito.
- Fuente: Persona o sección que solicita el requisito.
- Prioridad: Refleja el nivel de importancia y el momento del desarrollo que debe de ser incluida la funcionalidad.
- Necesidad: Refleja el interés de los usuarios en que la aplicación lo cumpla. En esta sección se refleja hasta qué punto se estaría dispuesto a renunciar a él.
- Estabilidad: Indica si el requisito puede cambiar a lo largo del ciclo de vida del proyecto.
- Verificabilidad: Indica la facilidad de comprobación que un requisito ha sido incluido en el diseño.
- Prerrequisito: Se indicarán requisitos necesarios para poder cumplir este requisito. En este campo aparecerán enumerados los identificadores de los requisitos necesarios.

Identificador:	RUCXX
Nombre:	
Descripción:	
Fuente:	
Prioridad:	Necesidad:
Estabilidad:	Verificabilidad:
Prerrequisitos:	

Tabla 15 - Ejemplo de tabla de requisitos de usuario

4.2.1 Requisitos de capacidad

Identificador:		RUC01	
Nombre:	Integración con la aplicación principal		
Descripción:	El sistema es integrable con el proyecto mayor del que forma parte		
Fuente:	Cliente		
Prioridad:	Alta	Necesidad:	Alta
Estabilidad:	Estable	Verificabilidad:	Alta
Prerrequisitos:	Ninguno		

Tabla 16 - Requisito de usuario 1 - Integración con la aplicación principal

Identificador:		RUC02	
Nombre:	Representación de mapas cartográficos		
Descripción:	El sistema deberá tener la capacidad de mostrar imágenes de mapas cartográficos		
Fuente:	Cliente		
Prioridad:	Alta	Necesidad:	Alta
Estabilidad:	Estable	Verificabilidad:	Alta
Prerrequisitos:	Ninguno		

Tabla 17 - Requisito de usuario 2 - Representación de mapas cartográficos

Identificador:		RUC03	
Nombre:	Almacenamiento de mapas cartográficos		
Descripción:	El sistema deberá tener la capacidad para almacenar imágenes de mapas cartográficos para evitar descargas de recursos utilizados con anterioridad		
Fuente:	Analista		
Prioridad:	Media	Necesidad:	Alta
Estabilidad:	Estable	Verificabilidad:	Alta
Prerrequisitos:	Ninguno		

Tabla 18 - Requisito de usuario 3 - Almacenamiento de mapas cartográficos

Identificador:		RUC04	
Nombre:	Representación de municipios		
Descripción:	El sistema deberá tener la capacidad de mostrar los municipios que correspondan a la localización sobre los mapas cartográficos		
Fuente:	Cliente		
Prioridad:	Media	Necesidad:	Media
Estabilidad:	Estable	Verificabilidad:	Alta
Prerrequisitos:	RUC02		

Tabla 19 - Requisito de usuario 4 - Representación de municipios

Identificador:	RUC05		
Nombre:	Etiquetas de municipios		
Descripción:	El sistema deberá tener la capacidad de mostrar la etiqueta de nombre del municipio en su localización georreferenciada		
Fuente:	Cliente		
Prioridad:	Media	Necesidad:	Media
Estabilidad:	Estable	Verificabilidad:	Estable
Prerrequisitos:	RUC03		

Tabla 20 - Requisito de usuario 5 - Etiquetas de municipios

Identificador:	RUC06		
Nombre:	Representación de puntos de interés		
Descripción:	El sistema deberá tener la capacidad de mostrar puntos de interés ferroviario (estaciones, subestaciones eléctricas y sus etiquetas) que correspondan a la localización sobre los mapas cartográficos		
Fuente:	Cliente		
Prioridad:	Alta	Necesidad:	Alta
Estabilidad:	Estable	Verificabilidad:	Alta
Prerrequisitos:	RUC02		

Tabla 21 - Requisito de usuario 6 - Representación de puntos de interés

Identificador:	RUC07		
Nombre:	Etiquetas de punto de interés		
Descripción:	El sistema deberá tener la capacidad de mostrar la etiqueta de nombre del punto de interés en su localización georreferenciada		
Fuente:	Cliente		
Prioridad:	Alta	Necesidad:	Alta
Estabilidad:	Estable	Verificabilidad:	Alta
Prerrequisitos:	RUC06		

Tabla 22 - Requisito de usuario 7 – Etiquetas de punto de interés

Identificador:	RUC08		
Nombre:	Posibilidad de mostrar trazado real		
Descripción:	El trazado ferroviario se muestra de forma esquemática, dos estaciones están unidas por una línea recta. Si existen datos, el sistema dará la posibilidad de mostrar al usuario el trazado real en aquellos lugares que se cuente con datos.		
Fuente:	Analista		
Prioridad:	Media	Necesidad:	Media
Estabilidad:	Estable	Verificabilidad:	Alta
Prerrequisitos:	Ninguno		

Tabla 23 - Requisito de usuario 8 – Posibilidad de trazado real

Identificador:	RUC09		
Nombre:	Representación de la circulación		
Descripción:	El sistema deberá tener la capacidad de mostrar las circulaciones en su localización sobre los mapas cartográficos		
Fuente:	Cliente		
Prioridad:	Alta	Necesidad:	Alta
Estabilidad:	Estable	Verificabilidad:	Alta
Prerrequisitos:	RUC02		

Tabla 24 - Requisito de usuario 9 – Representación de la circulación

Identificador:	RUC10		
Nombre:	Leyenda de la circulación		
Descripción:	El sistema deberá tener la capacidad de mostrar una leyenda que relacione las circulaciones		
Fuente:	Analista		
Prioridad:	Alta	Necesidad:	Alta
Estabilidad:	Estable	Verificabilidad:	Alta
Prerrequisitos:	RUC02		

Tabla 25 - Requisito de usuario 10 – Leyenda de circulación

Identificador:	RUC11		
Nombre:	Simulación de la circulación		
Descripción:	El sistema deberá tener la capacidad de realizar una simulación de una o más circulaciones sobre los mapas cartográficos		
Fuente:	Analista		
Prioridad:	Alta	Necesidad:	Alta
Estabilidad:	Estable	Verificabilidad:	Alta
Prerrequisitos:	RUC09		

Tabla 26 - Requisito de usuario 11 – Simulación de circulación

4.2.2 Requisitos de restricción

Identificador:	RUR01		
Nombre:	Sistema operativo		
Descripción:	El sistema debe funcionar en el sistema operativo Microsoft Windows.		
Fuente:	Cliente		
Prioridad:	Alta	Necesidad:	Alta
Estabilidad:	Estable	Verificabilidad:	Alta
Prerrequisitos:	Ninguno		

Tabla 27 - Requisito de restricción 1 – Sistema operativo

Identificador:	RUR02		
Nombre:	Desarrollo en .NET Framework 2.0		
Descripción:	Será requisito indispensable la codificación del código respetando el léxico del lenguaje de programación C# el framework versión 2.0 de Microsoft.		
Fuente:	Analista		
Prioridad:	Alta	Necesidad:	Alta
Estabilidad:	Estable	Verificabilidad:	Alta
Prerrequisitos:	RUR01		

Tabla 28 - Requisito de restricción 2 – Desarrollo en .NET Framework 2.0

Identificador:	RUR03		
Nombre:	Sistema de referencia datum		
Descripción:	Se utilizará un estándar de referencia datum como sistema de referenciación de los mapas.		
Fuente:	Analista		
Prioridad:	Alta	Necesidad:	Alta
Estabilidad:	Estable	Verificabilidad:	Alta
Prerrequisitos:	Ninguno		

Tabla 29 - Requisito de restricción 3 – Georreferenciación de mapas por sistema DATUM

Identificador:	RUR04		
Nombre:	Servidor PNOA		
Descripción:	Se utilizará como servidor de imágenes de mapas cartográficos el servidor del Ministerio de Fomento PNOA.		
Fuente:	Programador		
Prioridad:	Media	Necesidad:	Baja
Estabilidad:	Estable	Verificabilidad:	Alta
Prerrequisitos:	Ninguno		

Tabla 30 - Requisito de restricción 4 – Servidor SIGPAC

Identificador:	RUR05		
Nombre:	Localización de municipios		
Descripción:	Los municipios son provenientes de una base de datos del INE, (Vease apartado 5.3.2), esta base de datos es descargada en un archivo Access. En él se localizan los puntos de centro del casco urbano de los municipios mediante un sistema de coordenadas.		
Fuente:	Analista		
Prioridad:	Media	Necesidad:	Media
Estabilidad:	Estable	Verificabilidad:	Alta
Prerrequisitos:	Ninguno		

Tabla 31 - Requisito de restricción 5 – Localización de municipios

4.3 Especificación de requisitos de software

En esta sección se describirán las funcionalidades del comportamiento del sistema en un nivel de abstracción de más baja profundidad. En esta sección se incluyen los siguientes tipos de requisitos:

- Requisitos funcionales: Son el tipo de requisito que describen lo que el sistema debe poder hacer o la capacidad de realizar la funcionalidad que se debe de proporcionar.
- Requisitos no funcionales: Son el tipo de requisito que especifican propiedades de las que dispone la aplicación como la disponibilidad, el rendimiento, entre otros.

Para la especificación de estos requisitos se utilizan los siguientes campos:

- Identificador: Identifican cada requisito de manera única. Dependiendo del tipo de requisito su formato variará:
 - o Requisitos funcionales: Su identificador será RSFCXX, donde XX se trata de un número de dos cifras comenzando desde 01.
 - o Requisitos no funcionales: Su identificador será RUNFXX, donde XX se trata de un número de dos cifras comenzando desde 01.
- Nombre: Explica de manera muy concisa el objetivo del requisito.
- Descripción: Breve explicación de en qué consiste el requisito.
- Fuente: Persona o sección que solicita el requisito.
- Prioridad: Refleja el nivel de importancia y el momento del desarrollo que debe de ser incluida la funcionalidad.
- Necesidad: Refleja el interés de los usuarios en que la aplicación lo cumpla. En esta sección se refleja hasta qué punto se estaría dispuesto a renunciar a él.
- Estabilidad: Indica si el requisito puede cambiar a lo largo del ciclo de vida del proyecto.
- Verificabilidad: Indica la facilidad de comprobación que un requisito ha sido incluido en el diseño.
- Prerrequisito: Se indicarán requisitos necesarios para poder cumplir este requisito. En este campo aparecerán enumerados los identificadores de los requisitos necesarios.

Identificador:	RSXX
Nombre:	
Descripción:	
Fuente:	
Prioridad:	Necesidad:
Estabilidad:	Verificabilidad:
Prerrequisitos:	

Tabla 32 - Ejemplo de tabla de requisito de software

4.3.1 Requisitos de software funcionales

Identificador:	RSF01		
Nombre:	Localización espacial de la zona mostrada		
Descripción:	El sistema deberá localizarse espacialmente con referencia a un punto de inicio definido por el proyecto		
Fuente:	Cliente		
Prioridad:	Alta	Necesidad:	Alta
Estabilidad:	Estable	Verificabilidad:	Alta
Prerrequisitos:	Ninguno		

Tabla 33 - Requisito funcional 1 – Localización espacial de la zona mostrada

Identificador:	RSF02		
Nombre:	Activación de mapas cartográficos		
Descripción:	El usuario podrá activar o desactivar a su necesidad los mapas cartográficos.		
Fuente:	Cliente		
Prioridad:	Alta	Necesidad:	Alta
Estabilidad:	Estable	Verificabilidad:	Alta
Prerrequisitos:	Ninguno		

Tabla 34 - Requisito funcional 2 - Activación de mapas cartográficos

Identificador:	RSF03		
Nombre:	Caché de almacenamiento de mapas cartográficos		
Descripción:	El sistema almacenará mapas que anteriormente han sido visualizados para evitar demoras en la obtención de éstos		
Fuente:	Analista		
Prioridad:	Media	Necesidad:	Media
Estabilidad:	Estable	Verificabilidad:	Alta
Prerrequisitos:	Ninguno		

Tabla 35 - Requisito funcional 3 - Caché de almacenamiento de mapas cartográficos

Identificador:	RSF04		
Nombre:	Localización de municipios		
Descripción:	El sistema mostrará los municipios sobre los mapas cartográficos		
Fuente:	Cliente		
Prioridad:	Media	Necesidad:	Alta
Estabilidad:	Estable	Verificabilidad:	Alta
Prerrequisitos:	Ninguno		

Tabla 36 - Requisito funcional 4 - Localización de municipios

Identificador:	RSF05		
Nombre:	Activación de localización de municipios		
Descripción:	El usuario podrá activar o desactivar la localización de municipios en la representación del mapa.		
Fuente:	Cliente		
Prioridad:	Media	Necesidad:	Alta
Estabilidad:	Estable	Verificabilidad:	Alta
Prerrequisitos:	RSF04		

Tabla 37 - Requisito funcional 5 - Activación de localización de municipios

Identificador:	RSF06		
Nombre:	Selección de circulaciones para simulación		
Descripción:	El sistema mostrará al usuario una lista de todas las circulaciones validadas del proyecto para su simulación		
Fuente:	Cliente		
Prioridad:	Alta	Necesidad:	Alta
Estabilidad:	Estable	Verificabilidad:	Alta
Prerrequisitos:	Ninguno		

Tabla 38 - Requisito funcional 6 - Selección de circulaciones para simulación

Identificador:	RSF07		
Nombre:	Elección de circulaciones para simulación		
Descripción:	El usuario podrá seleccionar una circulación o más de la lista de circulaciones validadas del proyecto para simular		
Fuente:	Cliente		
Prioridad:	Alta	Necesidad:	Alta
Estabilidad:	Estable	Verificabilidad:	Alta
Prerrequisitos:	RS06		

Tabla 39 - Requisito funcional 7 - Elección de circulaciones para simulación

Identificador:	RSF08		
Nombre:	Inicio de simulación de circulaciones		
Descripción:	El usuario podrá comenzar la simulación de la o las circulaciones válidas seleccionadas		
Fuente:	Cliente		
Prioridad:	Alta	Necesidad:	Alta
Estabilidad:	Estable	Verificabilidad:	Alta
Prerrequisitos:	Ninguno		

Tabla 40 - Requisito funcional 8 - Inicio de simulación de circulaciones

Identificador:	RSF09		
Nombre:	Velocidad de simulación		
Descripción:	El usuario podrá variar la velocidad de la simulación de circulaciones		
Fuente:	Analista		
Prioridad:	Media	Necesidad:	Media
Estabilidad:	Estable	Verificabilidad:	Alta
Prerrequisitos:	RSF08		

Tabla 41 - Requisito funcional 9 - Velocidad de simulación

Identificador:	RSF10		
Nombre:	Pausado de simulación		
Descripción:	El usuario podrá pausar la simulación de circulaciones		
Fuente:	Analista		
Prioridad:	Media	Necesidad:	Media
Estabilidad:	Estable	Verificabilidad:	Alta
Prerrequisitos:	RSF08		

Tabla 42 - Requisito funcional 10 - Pausado de simulación

Identificador:	RSF11		
Nombre:	Reanudación de simulación		
Descripción:	El usuario podrá reanudar la simulación de circulaciones		
Fuente:	Analista		
Prioridad:	Media	Necesidad:	Media
Estabilidad:	Estable	Verificabilidad:	Alta
Prerrequisitos:	RSF08		

Tabla 43 - Requisito funcional 11 - Reanudación de simulación

Identificador:	RSF12		
Nombre:	Interrupción de simulación		
Descripción:	El usuario podrá interrumpir la simulación de circulaciones		
Fuente:	Analista		
Prioridad:	Media	Necesidad:	Media
Estabilidad:	Estable	Verificabilidad:	Alta
Prerrequisitos:	RSF08		

Tabla 44 - Requisito funcional 12 - Interrupción de simulación

Identificador:	RSF13		
Nombre:	Visualización de simulación		
Descripción:	El usuario visualizará la simulación de la circulación sobre las imágenes de mapas cartográficos		
Fuente:	Cliente		
Prioridad:	Media	Necesidad:	Media
Estabilidad:	Estable	Verificabilidad:	Alta
Prerrequisitos:	RSF08		

Tabla 45 - Requisito funcional 13 – Visualización de simulación

Identificador:	RSF14		
Nombre:	Mostrado de circulación en simulación		
Descripción:	Una circulación solo se mostrará durante el tiempo que se encuentre activa		
Fuente:	Analista		
Prioridad:	Media	Necesidad:	Media
Estabilidad:	No estable	Verificabilidad:	Alta
Prerrequisitos:	RSF13		

Tabla 46 - Requisito funcional 14 – Mostrado de circulación en simulación

Identificador:	RSF15		
Nombre:	Visualización de simulación en el mapa		
Descripción:	Se podrá observar la simulación de las circulaciones desde cualquier localización. Solo se visualizaría la circulación si pasa por algún punto presentado al usuario.		
Fuente:	Cliente		
Prioridad:	Alta	Necesidad:	Alta
Estabilidad:	Estable	Verificabilidad:	Alta
Prerrequisitos:	RSF14		

Tabla 47 - Requisito funcional 15 – Visualización de simulación en el mapa

Identificador:	RSF16		
Nombre:	Visualización de simulación siguiendo a circulación		
Descripción:	Se podrá visualizar una circulación eligiéndola. La circulación permanecerá en el centro de la pantalla y se desplazarán los mapas de imágenes cartográficas y elementos de la infraestructura ferroviaria.		
Fuente:	Analista		
Prioridad:	Media	Necesidad:	Media
Estabilidad:	Estable	Verificabilidad:	Alta
Prerrequisitos:	Ninguno		

Tabla 48 - Requisito funcional 16 – Visualización de simulación siguiendo a circulación

Identificador:	RSF17		
Nombre:	Visualización de circulación desde punto de interés		
Descripción:	Se podrá seleccionar un punto de interés ferroviario (estaciones, subestaciones eléctricas) para visualizar la simulación de las circulaciones. Solo se visualizaría la circulación si pasa por algún punto presentado al usuario.		
Fuente:	Analista		
Prioridad:	Media	Necesidad:	Media
Estabilidad:	Estable	Verificabilidad:	Alta
Prerrequisitos:	Ninguno		

Tabla 49 - Requisito funcional 17 – Visualización de circulación desde punto de interés

Identificador:	RSF18		
Nombre:	Activación de leyenda		
Descripción:	El usuario podrá elegir si desea mostrar u ocultar una leyenda de las circulaciones en simulación.		
Fuente:	Analista		
Prioridad:	Media	Necesidad:	Media
Estabilidad:	Estable	Verificabilidad:	Alta
Prerrequisitos:	Ninguno		

Tabla 50 - Requisito funcional 18 – Activación de leyenda

Identificador:	RSF19		
Nombre:	Detalles de circulación		
Descripción:	El usuario podrá visualizar los detalles de una circulación seleccionándola en la leyenda		
Fuente:	Analista		
Prioridad:	Media	Necesidad:	Media
Estabilidad:	Estable	Verificabilidad:	Alta
Prerrequisitos:	RSF18		

Tabla 51 - Requisito funcional 19 – Detalles de circulación

Identificador:	RSF20		
Nombre:	Visualización de mapa desde municipio		
Descripción:	El usuario podrá localizar el centro del mapa en el municipio que lo desee		
Fuente:	Analista		
Prioridad:	Alta	Necesidad:	Alta
Estabilidad:	Estable	Verificabilidad:	Alta
Prerrequisitos:	Ninguno		

Tabla 52 - Requisito funcional 20 – Visualización de mapa desde municipio

Identificador:	RSF21		
Nombre:	Visualización del mapa desde punto de interés		
Descripción:	El usuario podrá localizar el centro del mapa en punto de interés (estaciones, subestaciones eléctricas) que desee		
Fuente:	Analista		
Prioridad:	Media	Necesidad:	Media
Estabilidad:	Estable	Verificabilidad:	Alta
Prerrequisitos:	RSF18		

Tabla 53 - Requisito funcional 21 – Visualización del mapa desde punto de interés

4.3.2 Requisitos de software no funcionales

Identificador:	RSNF01		
Nombre:	Compatibilidad con Microsoft Windows XP o superior		
Descripción:	El sistema deberá funcionar en un ordenador de escritorio con un sistema operativo Windows XP o superior.		
Fuente:	Cliente		
Prioridad:	Alta	Necesidad:	Alta
Estabilidad:	Estable	Verificabilidad:	Alta
Prerrequisitos:	Ninguno		

Tabla 54 - Requisito no funcional 1 - Compatibilidad con Microsoft Windows XP o superior

Identificador:	RSNF02		
Nombre:	Utilización como referencia DATUM ED50		
Descripción:	Adif dispone de la localización de sus tramos y puntos de interés (estaciones y subestaciones eléctricas) en DATUM ED50. Se deberán de solicitar los mapas cartográficos en base a ese sistema de georreferenciación.		
Fuente:	Analista		
Prioridad:	Alta	Necesidad:	Alta
Estabilidad:	Estable	Verificabilidad:	Alta

Tabla 55 - Requisito no funcional 2 - Utilización como referencia DATUM ED50

Identificador:	RSNF03		
Nombre:	Solicitud de imágenes de mapas cartográficos		
Descripción:	El sistema utilizará para la solicitud de imágenes de mapas cartográficos el a los servidores el servicio WMS		
Fuente:	Programador		
Prioridad:	Media	Necesidad:	Media
Estabilidad:	Estable	Verificabilidad:	Alta
Prerrequisitos:	Ninguno		

Tabla 56 - Requisito no funcional 3 - Solicitud de imágenes de mapas cartográficos

Identificador:	RSNF04		
Nombre:	Necesidad de conexión a internet		
Descripción:	El sistema utilizará el protocolo HTTP para la comunicación con los servidores WMS de suministro de imágenes de mapas cartográficos		
Fuente:	Analista		
Prioridad:	Alta	Necesidad:	Alta
Estabilidad:	Estable	Verificabilidad:	Alta
Prerrequisitos:	Ninguno		

Tabla 57 - Requisito no funcional 4 – Necesidad de conexión a internet

Identificador:	RSNF05		
Nombre:	Comunicación con servidor de imágenes de mapas cartográficos		
Descripción:	El sistema utilizará el protocolo HTTP para la comunicación con los servidores WMS de suministro de imágenes de mapas cartográficos		
Fuente:	Analista		
Prioridad:	Alta	Alta	Alta
Estabilidad:	Estable	Estable	Estable
Prerrequisitos:	Ninguno		

Tabla 58 - Requisito no funcional 5 - Comunicación con servidor de imágenes de mapas cartográficos

4.4 Matrices de trazabilidad

En esta sección se desea comprobar la coherencia existente entre los casos de uso y los requisitos mediante la utilización de una matriz en la que en las columnas y las filas son los elementos que se desea comprobar su coherencia y la celda de corte se rellena si ambas están relacionadas. A continuación, en este apartado se comprobará la coherencia existente entre:

- Requisitos de capacidad y casos de uso
- Requisitos de restricción y casos de uso
- Requisitos de capacidad y requisitos de software funcional
- Requisitos de capacidad y requisitos de software no funcional
- Requisitos de restricción y requisitos de software funcional
- Requisitos de restricción y requisitos de software no funcional
- Requisitos de software funcional y casos de uso
- Requisitos de software no funcional y casos de uso

4.4.1 Matriz de trazabilidad entre requisitos de capacidad y casos de uso

REQUISITOS DE USUARIO	CASOS DE USO						
REQUISITOS DE CAPACIDAD	CU01	CU02	CU03	CU04	CU05	CU06	CU07
RUC01							
RUC02	X						
RUC03	X						
RUC04		X					
RUC05		X					
RUC06				X			
RUC07				X			
RUC08					X		
RUC09						X	
RUC10			X				
RUC11							X

Tabla 59 - Matriz de trazabilidad entre requisitos de capacidad y casos de uso

4.4.2 Matriz de trazabilidad entre requisitos de restricción y casos de uso

REQUISITOS DE USUARIO	CASOS DE USO						
REQUISITOS DE RESTRICCIÓN	CU01	CU02	CU03	CU04	CU05	CU06	CU07
RUR01							
RUR02							
RUR03				X			
RUR04		X					
RUR05			X				

Tabla 60 - Matriz de trazabilidad entre requisitos de restricción y casos de uso

4.4.3 Trazabilidad entre requisitos de capacidad y requisitos de software funcionales

REQUISITOS DE SOFTWARE SOFTWARE FUNCIONAL	REQUISITOS DE USUARIO (REQUISITOS DE CAPACIDAD)										
	RUC01	RUC02	RUC03	RUC04	RUC05	RUC06	RUC07	RUC08	RUC09	RUC10	RUC11
RSF01		X									
RSF02		X									
RSF03			X								
RSF04				X							
RSF05					X						
RSF06									X		
RSF07									X		
RSF08											X
RSF09											X
RSF10											X
RSF11											X
RSF12											X
RSF13								X	X		X
RSF14									X		X
RSF15									X		X
RSF16									X		X
RSF17						X	X				
RSF18										X	
RSF19										X	
RSF20				X							
RSF21						X	X				

Tabla 61 - Matriz de trazabilidad entre requisitos de capacidad y requisitos de software funcionales

4.4.4 Trazabilidad entre requisitos de capacidad y requisitos de software no funcional

REQUISITOS DE SOFTWARE SOFTWARE NO FUNCIONAL	REQUISITOS DE USUARIO (REQUISITOS DE CAPACIDAD)										
	RUC01	RUC02	RUC03	RUC04	RUC05	RUC06	RUC07	RUC08	RUC09	RUC10	RUC11
RSNF01											
RSNF02		X									
RSNF03		x									
RSNF04											
RSNF05											

Tabla 62 - Matriz de trazabilidad entre requisitos de capacidad y requisitos de software no funcional

4.4.5 Trazabilidad entre requisitos de restricción y requisitos de software funcional

REQUISITOS DE SOFTWARE SOFTWARE FUNCIONAL	REQUISITOS DE USUARIO (REQUISITOS DE RESTRICCIÓN)				
	RUR01	RUR02	RUR03	RUR04	RUR05
RSF01			X		
RSF02					
RSF03					
RSF04					X
RSF05					
RSF06					
RSF07					
RSF08					
RSF09					
RSF10					
RSF11					
RSF12					
RSF13					
RSF14					
RSF15					
RSF16					
RSF17					
RSF18					
RSF19					
RSF20					
RSF21					

Tabla 63 - Matriz de trazabilidad entre requisitos de restricción y requisitos de software funcional

4.4.6 Trazabilidad entre requisitos de restricción y requisitos de software no funcional

REQUISITOS DE SOFTWARE SOFTWARE NO FUNCIONAL	REQUISITOS DE USUARIO (REQUISITOS DE RESTRICCIÓN)				
	RUR01	RUR02	RUR03	RUR04	RUR05
RSNF01	X	X			
RSNF02			X		
RSNF03				X	
RSNF04				X	
RSNF05				X	

Tabla 64 - Matriz de trazabilidad entre requisitos de restricción y requisitos de software no funcional

4.4.7 Trazabilidad entre requisitos de software funcional y casos de uso

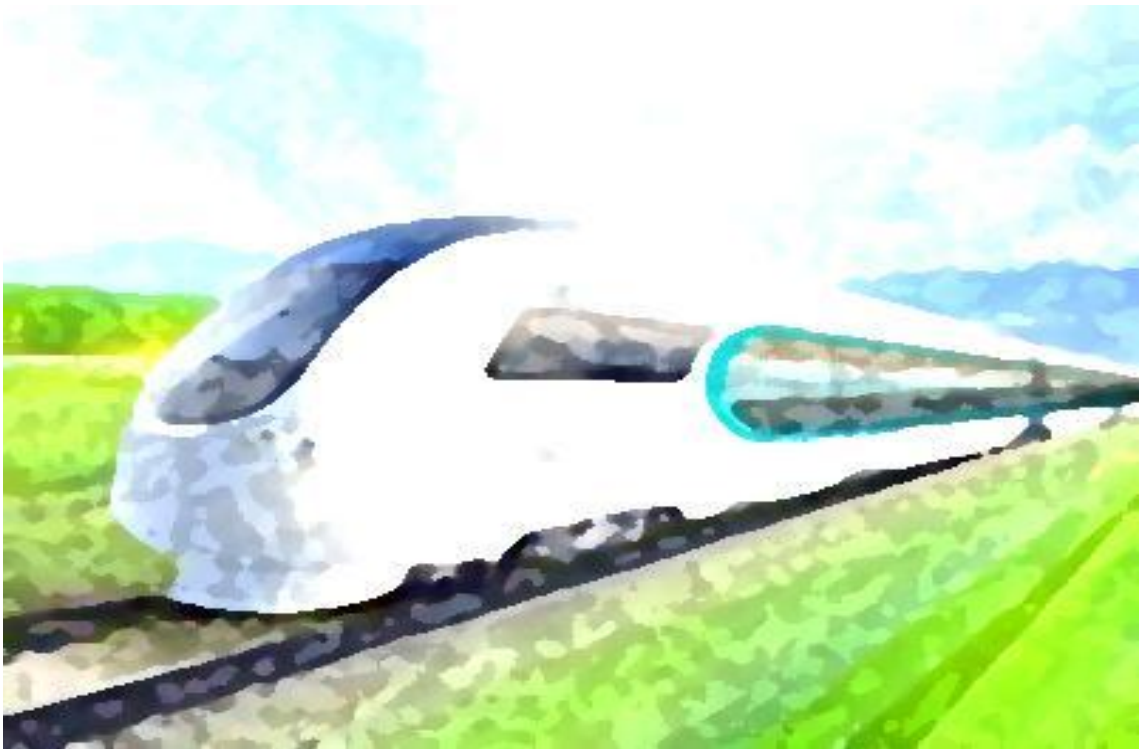
REQUISITOS DE SOFTWARE	CASOS DE USO						
SOFTWARE FUNCIONAL	CU01	CU02	CU03	CU04	CU05	CU06	CU07
RSF01				X			
RSF02	X						
RSF03	X						
RSF04		X					
RSF05		X					
RSF06					X		
RSF07					X		
RSF08						X	
RSF09							X
RSF10							X
RSF11							X
RSF12							X
RSF13						X	
RSF14						X	
RSF15				X			
RSF16				X			
RSF17				X			
RSF18			X				
RSF19			X				
RSF20				X			
RSF21				X			

Tabla 65 - Matriz de trazabilidad entre requisitos de software funcional y casos de uso

4.4.8 Trazabilidad entre requisitos de software no funcional y casos de uso

REQUISITOS DE SOFTWARE	CASOS DE USO						
SOFTWARE NO FUNCIONAL	CU01	CU02	CU03	CU04	CU05	CU06	CU07
RSNF01							
RSNF02							
RSNF03							
RSNF04							
RSNF05							

Tabla 66 - Matriz de trazabilidad entre requisitos de software no funcional y casos de uso



DISEÑO

5 Diseño

El propósito de esta sección es describir las características del sistema para la facilitación de su desarrollo.

En esta sección se presentará:

- Definición de la arquitectura del sistema
 - o Identificación de subsistemas de diseño
- Descripción de clases del proyecto
 - o Diagrama de clases
 - o Atributos y métodos de las clases
- Modelo de datos
 - o Modelo de datos de proyecto
 - o Modelo de datos de base de datos de municipios
 - o Datos de circulaciones válidas
 - o Datos de imágenes de mapas cartográficos en caché

5.1 Definición de la arquitectura del sistema

En este apartado se explica la arquitectura del sistema a desarrollar. Dicho de otro modo, el tipo de software que se realizará para alcanzar todos los objetivos.

La arquitectura adoptada del sistema en el proyecto ha sido la arquitectura MVC (Modelo – Vista – Controlador).

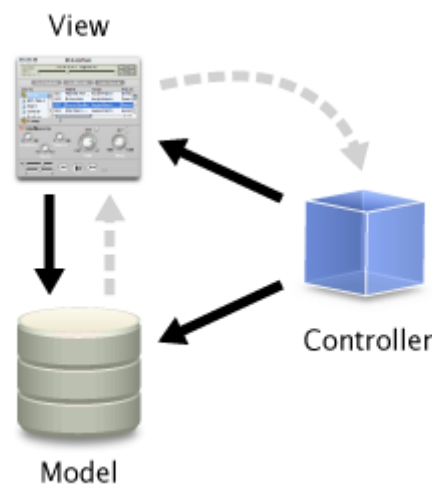


Ilustración 38 - Modelo - vista – controlador

- **Modelo:** Es la representación de los objetos del dominio o estructuras de datos con el cual opera el sistema.

Muchos de los sistemas utilizan al menos un sistema de Gestión de Bases de Datos. En las líneas generales de la arquitectura de Modelo-Vista-Controlador corresponde al modelo.

- **Vista:** Presenta el modelo de manera que el usuario pueda interactuar con él. Normalmente se suele representar por medio de la interfaz de usuario.
- **Controlador:** Representa la lógica de negocio del sistema. Sus resultados condicionan cambios en las estructuras de modelo y de vista.

La relación entre capa de presentación y capa de negocio en el paradigma de la programación por capas representaría la integración entre Vista y Controlador.

5.1.1 Ventajas de utilizar MVC

- Principios de modularidad, alta cohesión y bajo acoplamiento. Esto viene que el ciclo de vida de cada módulo es independiente de los demás, no existen dependencias entre ellos pero si existe relación.
- La separación total de la lógica de negocio (controlador), presentación (vista), permite aplicar opciones en el sistema como distintos diseños de presentación sin alterar la lógica de negocio además se añaden otras posibilidades como el multilinguaje.
- La separación en capas de presentación, lógica de negocio y estructura de datos (modelo) permite el desarrollo de sistemas más consistentes, reutilizables y más fáciles de mantener, lo que al final da como resultado un ahorro en el tiempo de desarrollo de posteriores proyectos
- La capa de presentación es susceptible de modificación sin necesidad de provocar que todo el sistema se paralice.
- Se permiten substituir la totalidad de las capas para mejor el rendimiento o migrar a otra tecnología.

5.1.2 Identificación de subsistemas de diseño

El diseño de la parte del sistema relacionada con el proyecto se ha dividido en tres subsistemas organizados como se muestra en la ilustración de a continuación:

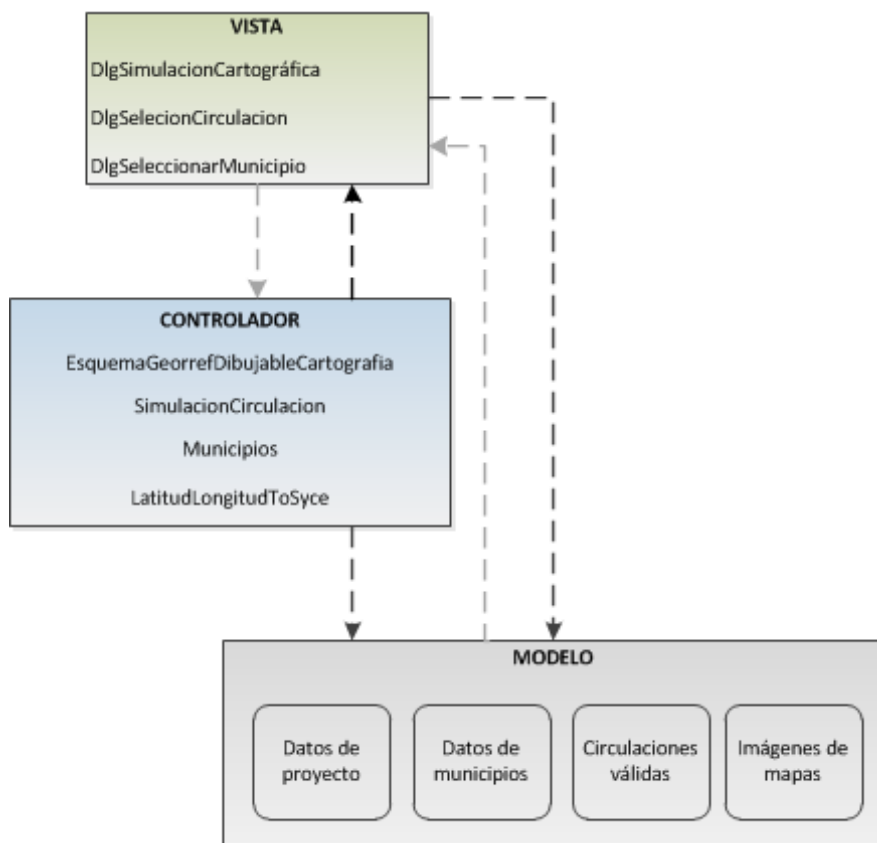


Ilustración 39 - Diagrama de componentes

Vista: Está formada por las clases con interfaz gráfica de DlgSimulacionCartografica, DlgSelecionCirculacion, DlgSeleccionarMunicipio. Como se indicó anteriormente, se tratan de las interfaces encargadas de recoger los datos del usuario para posteriormente procesarlos en el controlador. Una vez se han procesado los datos por parte del controlador, el subsistema vista recibirá la respuesta y la mostrará al usuario.

Controlador: Procesan los que recibe de la vista y del modelo. La clase EsquemaGeorrefDibujableCartografia se encarga del mostrado de los elementos ferroviarios e imágenes de mapas cartográficos. La clase SimulacionCirculacion se encarga del cálculo de las posiciones de los trenes durante la simulación. La clase Municipios se encarga de manejar todos los datos relativos a los municipios y la LatitudLongitudToSyce utilizada por la clase Municipios que se encarga de transformar de un sistema de coordenadas a uno de DATUM.

Modelo: Pertenecen a esta división toda las fuentes de datos del sistema. Además ofrece los métodos necesarios para la actualización de datos.

5.2 Descripción de clases del proyecto

A la izquierda se puede visualizar el árbol de proyectos que se encuentran en la solución 'SYCE'.

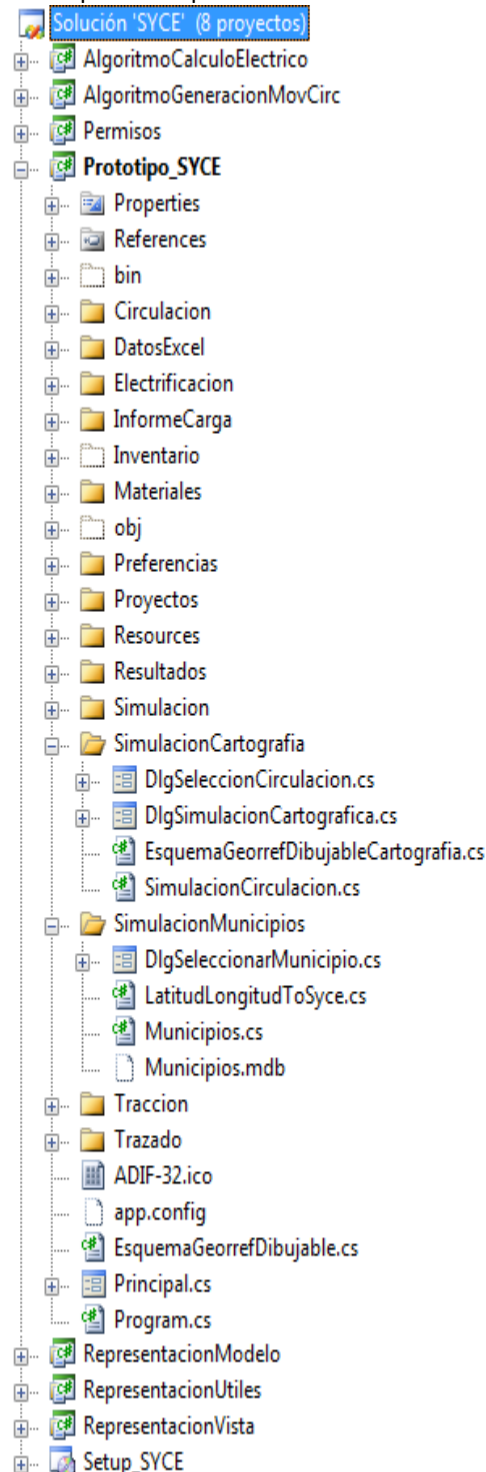


Ilustración 40 - Estructura en árbol del proyecto SYCE

Este trabajo final de grado forma parte en el proyecto "Prototipo_SYCE" de la solución mostrada. Este proyecto final de grado está formado por 2 namespaces.

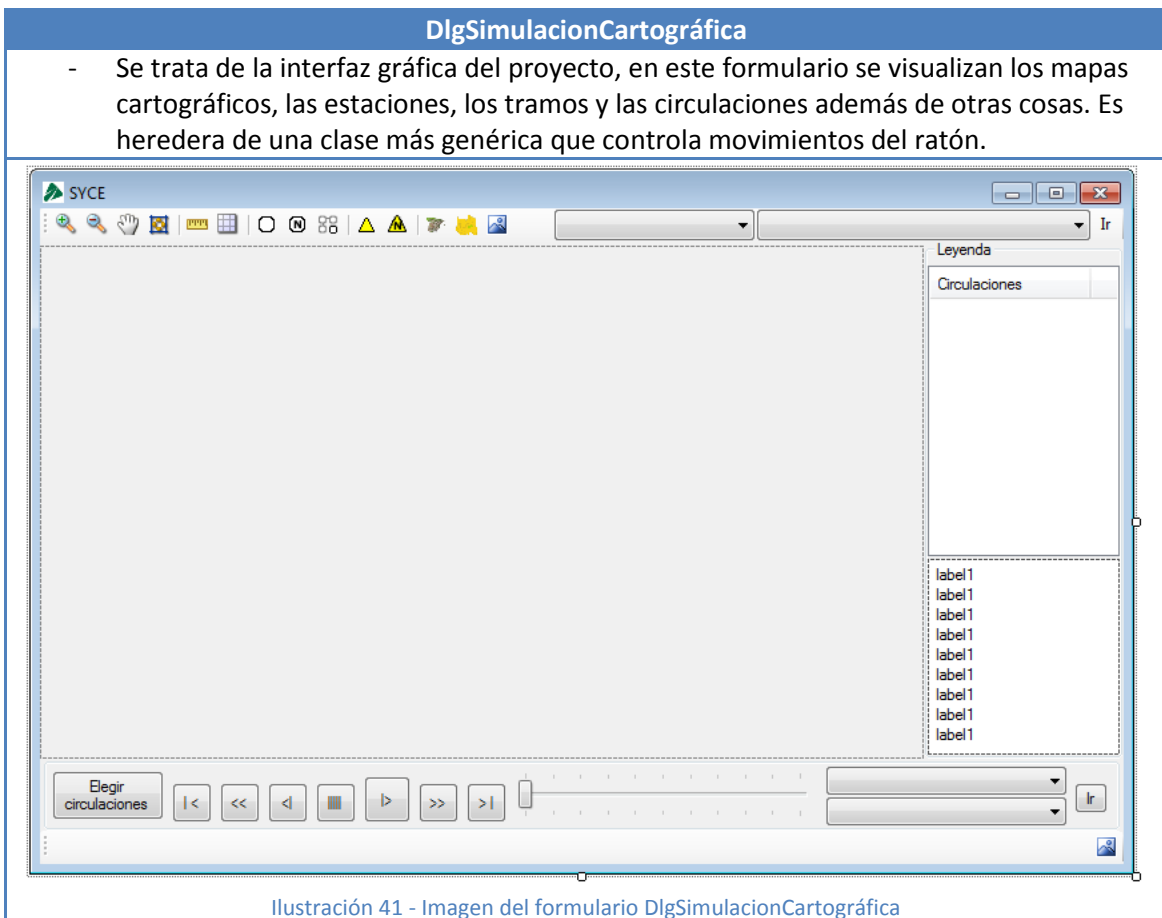
El namespace 'SimulaciónCartográfica' contiene todo lo necesario para mostrar por pantalla este proyecto. Las clases de este namespace son:

- DlgSimulacionCartográfica: Se trata de la interfaz gráfica del proyecto, en este formulario se visualizan los mapas cartográficos, las estaciones, los tramos y las circulaciones además de otras cosas. Es heredera de una clase más genérica que controla movimientos del ratón.
- DlgSelecionCirculacion: Este formulario permite introducir que circulaciones de trenes se desean simular.
- EsquemaGeorrefDibujableCartografia: Esta clase se encarta de realizar las tareas de procesado de la información para mostrar.
- SimulacionCirculacion: Esta clase es la encargada de realizar los cálculos de las posiciones de los trenes en la simulación.

El namespace 'SimulacionMunicipios' contiene todo lo necesario para poder representar los municipios de la base de datos externa del INE. Sus clases son:

- Municipios: Se trata de la clase principal de los municipios, se encarga de la representación de los municipios.
- DlgSeleccionarMunicipio: Es un formulario auxiliar cuya función es de especificar la comunidad autónoma de un municipio cuando existen dos que se llaman igual en distintas provincias.
- LatitudLongitudToSyce: Esta clase se encarga de realizar un cambio de sistema de georreferenciación.
- Municipios.mdb: Base de datos externa que contiene las coordenadas de los municipios.

5.2.1 Atributos y métodos de las clases



Atributos

- private System.Windows.Forms.ToolStripPanel BottomToolStripPanel;
- private System.Windows.Forms.ToolStripPanel TopToolStripPanel;
- private System.Windows.Forms.ToolStripPanel RightToolStripPanel;
- private System.Windows.Forms.ToolStripPanel LeftToolStripPanel;
- private System.Windows.Forms.ToolStripContentPanel ContentPanel;
- private System.Windows.Forms.ToolStrip toolStripSuperior;
- private System.Windows.Forms.ToolStripButton masZoom;
- private System.Windows.Forms.ToolStripButton menosZoom;
- private System.Windows.Forms.ToolStripButton manoDesplazar;
- private System.Windows.Forms.ToolStripButton restaurarZoom;
- private System.Windows.Forms.ToolStripSeparator toolStripSeparator8;
- private System.Windows.Forms.ToolStripButton buttonRegla;
- private System.Windows.Forms.ToolStripButton buttonCuadrícula;
- private System.Windows.Forms.ToolStripSeparator toolStripSeparator27;
- private System.Windows.Forms.Panel panelDibujo;
- private System.Windows.Forms.ToolStrip toolStripInferior;
- private System.Windows.Forms.ToolStripProgressBar toolStripProgressBarCargaDatos;
- private System.Windows.Forms.ToolStripLabel toolStripLabelInferior1;
- private System.Windows.Forms.ToolStripButton buttonEstacionesAisladas;
- private System.Windows.Forms.ToolStripButton buttonEstaciones;
- private System.Windows.Forms.ToolStripButton buttonNombresEstaciones;
- private System.Windows.Forms.ToolStripButton buttonSubestaciones;

- private System.Windows.Forms.ToolStripButton buttonNombresSubestaciones;
- private System.Windows.Forms.ToolStripLabel toolStripLabelInferior2;
- private System.Windows.Forms.ToolStripSeparator toolStripSeparator1;
- private System.Windows.Forms.ToolStripComboBox comboBoxMunicipios;
- private System.Windows.Forms.ToolStripComboBox comboBoxProvincias;
- private System.Windows.Forms.ToolStripButton botonIrMunicipio;
- private System.Windows.Forms.ToolStripButton toolStripButton2;
- private System.Windows.Forms.GroupBox groupBox1;
- private System.Windows.Forms.Button buttonPlay;
- private System.Windows.Forms.Button button7;
- private System.Windows.Forms.Button button6;
- private System.Windows.Forms.Button button4;
- private System.Windows.Forms.Button button3;
- private System.Windows.Forms.Button button2;
- private System.Windows.Forms.Button button1;
- private System.Windows.Forms.ComboBox comboBoxVisualizarPuntoInteres;
- private System.Windows.Forms.Button button8;
- private System.ComponentModel.BackgroundWorker backgroundWorkerCapitales;
- private System.ComponentModel.BackgroundWorker backgroundWorkerMunicipiosProvincia;
- public System.ComponentModel.BackgroundWorker backgroundWorkerMunicipios;
- private System.Windows.Forms.ComboBox comboBoxVisualizarCirculacion;
- private System.Windows.Forms.TrackBar trackBar1;
- private System.Windows.Forms.Button button9;
- private System.Windows.Forms.Timer timer1;
- private System.Windows.Forms.ToolStripSeparator toolStripSeparator2;
- private System.Windows.Forms.ToolStripButton buttonCartografiaActiva;
- private System.Windows.Forms.ToolStripButton buttonJurisdiccionActiva;
- private System.Windows.Forms.ToolStripLabel labelHora;
- private System.Windows.Forms.GroupBox groupBox2;
- private System.Windows.Forms.ToolStripButton toolStripButton1;
- private System.Windows.Forms.ListView leyendaCirculaciones;
- private System.Windows.Forms.ColumnHeader chCirculaciones;
- private System.Windows.Forms.Panel panel1;
- private System.Windows.Forms.Label label1;
- private System.Windows.Forms.Label label6;
- private System.Windows.Forms.Label label9;
- private System.Windows.Forms.Label label8;
- private System.Windows.Forms.Label label7;
- private System.Windows.Forms.Label label5;
- private System.Windows.Forms.Label label4;
- private System.Windows.Forms.Label label3;
- private System.Windows.Forms.Label label2;
- private System.Windows.Forms.ToolTip EmergenteCirculacion;
- public const float MAXESCALA = 600f;
- public const float MINESCALA = 0.0001f;
- public const float ESCALAINICIAL = 0.01f;
- public const float ZOOM = 1.5f;
- private const int ENPREPARACION = 0;
- private const int ENCIRCULACION = 1;
- private const int ENFINALIZACION = 2;

- private string _circulacionSeguimiento = string.Empty;
- private bool _seguirCirculacion = false;
- private Proyecto _proyecto;
- CapasEsquemaGeorref _capasSYCE;
- private string _pathMapas;
- private SimulacionMunicipios.Municipios _simulacionMunicipios;
- private List<string> _archivosSimulacionCirculacion;
- private int AnteriorX = 0;
- private int AnteriorY = 0;
- SimulacionCirculacion _simulacionCirculacion = null;
- string mensajePorDefectoPuntoInteres = "Seleccionar punto de interés";
- string mensajePorDefectoCirculaciones = "Seleccionar una circulación";
- System.ComponentModel.BackgroundWorker backgroundWorkerCartografia;

Métodos

- publicDlgSimulacionCartografica(Proyecto proyecto, DirectorioTrabajo directorioTrabajo)
- private void InitializeEje()
- private void InitializeCapas()
- private void InicializarCartografia()
- private void DemonioCartografiaActivada(object sender, System.ComponentModel.DoWorkEventArgs e)
- private void ActualizacionDatosCartografia(object sender, System.ComponentModel.ProgressChangedEventArgs e)
- private void ActivarToolStripInferior(string texto)
- private void DesactivarToolStripInferior()
- private void Principal_Shown(object sender, EventArgs e)
- private void panelDibujo_MouseMove(object sender, MouseEventArgs e)
- private void panelDibujo_SizeChanged(object sender, EventArgs e)
- private void restaurarZoom_Click(object sender, EventArgs e)
- private void buttonRegla_Click(object sender, EventArgs e)
- private void buttonCuadrícula_Click(object sender, EventArgs e)
- private void buttonEstacionesAisladas_Click(object sender, EventArgs e)
- private void buttonEstaciones_Click(object sender, EventArgs e)
- private void buttonNombresEstaciones_Click(object sender, EventArgs e)
- private void buttonSubestaciones_Click(object sender, EventArgs e)
- private void buttonNombresSubestaciones_Click(object sender, EventArgs e)
- private void buttonCartografiaActiva_Click(object sender, EventArgs e)
- private void buttonJurisdiccionActiva_Click(object sender, EventArgs e)
- private void toolStripButton1_Click_1(object sender, EventArgs e)
- private void CambioProvinciaSeleccionada(object sender, EventArgs e)
- private void toolStripButton1_Click(object sender, EventArgs e)
- private void toolStripButton2_Click(object sender, EventArgs e)
- private void backgroundWorkerMunicipios_DoWork(object sender, System.ComponentModel.DoWorkEventArgs e)
- private void backgroundWorkerMunicipios_RunWorkerCompleted(object sender, System.ComponentModel.RunWorkerCompletedEventArgs e)
- private void backgroundWorkerCapitales_DoWork(object sender, System.ComponentModel.DoWorkEventArgs e)
- private void backgroundWorkerCapitales_RunWorkerCompleted(object sender, System.ComponentModel.RunWorkerCompletedEventArgs e)
- private void backgroundWorkerMunicipiosProvinciaDoWork(object sender,

```

System.ComponentModel.DoWorkEventArgs e)
- private void backgroundWorkerMunicipiosProvinciaRunWorkerCompleted(object
sender, System.ComponentModel.RunWorkerCompletedEventArgs e)
- private void BotonSeleccionarCirculaciones(object sender, EventArgs e)
- private void BotonReproducir(object sender, EventArgs e)
- private void timer1_Tick(object sender, EventArgs e)
- private void BotonFinalizar(object sender, EventArgs e)
- private void BotonAcelerar(object sender, EventArgs e)
- private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
- private void RellenarComboBoxPuntosInteres()
- private void RellenarComboBoxCirculaciones(List<string> circulacionesActivas)
- private void ComboboxVisualizarCirculacion_SelectedIndexChanged(object sender,
EventArgs e)
- private void ComboboxVisualizarPuntoInteres_SelectedIndexChanged(object sender,
EventArgs e)
- private void ClickBotonIrPuntosInteresCirculaciones(object sender, EventArgs e)
- private void VisualizarMapaDesde()
- private void RefrescarDibujo(bool refrescoObligatorioDeLaImagen)
- private void MostrarLeyenda()
- private void RefrescarLeyendaCirculaciones()
- private void VisualizarInformacionCirculacionSeleccionada(object sender, EventArgs e)
- private void LocalizarCirculacion(object sender, EventArgs e)
- private void LocalizarCirculacion(string nombreCirculacion)

```

DlgSelecionCirculacion

- Este formulario permite introducir que circulaciones de trenes se desean simular

Seleccionar circulaciones para simular
⏏

Circulaciones

Circulacion	Origen	Destino	Tren	Hora de salida	Hora de llegada	Dias

Ilustración 42 - Imagen del formulario DlgSelecionCirculacion

Atributos

- private System.Windows.Forms.GroupBox groupBoxCirculaciones;
- internal System.Windows.Forms.DataGridView dataGridView1;
- private System.Windows.Forms.DataGridViewCheckBoxColumn ComprobarCirculacion;
- private System.Windows.Forms.DataGridViewTextBoxColumn ColumnCirculacion;
- private System.Windows.Forms.DataGridViewTextBoxColumn Origen;
- private System.Windows.Forms.DataGridViewTextBoxColumn Destino;
- private System.Windows.Forms.DataGridViewTextBoxColumn ColumnTren;
- private System.Windows.Forms.DataGridViewTextBoxColumn ColumnSalida;
- private System.Windows.Forms.DataGridViewTextBoxColumn ColumnLlegada;
- private System.Windows.Forms.DataGridViewTextBoxColumn ColumnDas;
- private System.Windows.Forms.Button button1;
- private ProyectoConDirectorio _proyecto;
- private string _directorio;
- private List<string> _archivosSeleccionados;

Métodos

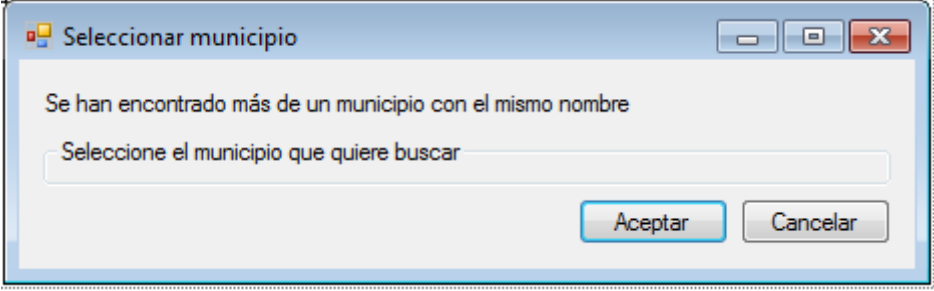
- public DlgSeleccionCirculacion(ProyectoConDirectorio proyecto, List<string> archivosSeleccionados)
- private void cargaDatos()
- private void SeleccionarCirculaciones()
- private void RefrescarDatagridView(String nombreCirculacion)
- private String crearStringDiaSemana(string diasSemana)
- private void BotonAceptar(object sender, EventArgs e)

EsquemaGeorrefDibujableCartografia
<ul style="list-style-type: none"> - Esta clase se encarga de realizar las tareas de procesamiento de la información para mostrar.
Atributos
<ul style="list-style-type: none"> - private System.ComponentModel.BackgroundWorker backgroundWorkerCartografia; - BBDD.ViaRow[] _vias; - BBDD.EstacionRow[] _estaciones; - BBDD.SubestacionElectricaRow[] _subestaciones; - BBDD.PuestaParaleloRow[] _puestasParalelo; - BBDD.TramoEstacionDataTable _tablaViasEstaciones; - BBDD.CoordenadasPlantaRow[] _tramosPlanta; - CapasEsquemaGeorref _capas; - List<PointF> circulaciones = null; - List<List<string>> municipios = null, List<List<string>> capitales = null;
Métodos
<ul style="list-style-type: none"> - public PointF PuntoInicial - public EsquemaGeorrefDibujableCartografia(BBDD.ViaRow[] vias, BBDD.EstacionRow[] estaciones, BBDD.SubestacionElectricaRow[] subestaciones, BBDD.PuestaParaleloRow[] puestas, BBDD.TramoEstacionDataTable tablaViasEstaciones) - public EsquemaGeorrefDibujableCartografia() - private void InicializarCartografia() - private void DescargarMapa(object sender, System.ComponentModel.DoWorkEventArgs e) - private void ImagenDescargada(object sender, System.ComponentModel.RunWorkerCompletedEventArgs e) - public void Dibujar() - public void Dibujar(Capas capas) - private void DibujarSimulacionCirculacion() - private void DibujarMunicipios() - private void DibujarCartografia() - private List<Rectangle> EstimarMapasNecesarios(PointF abajoIzquierda, PointF arribaDerecha) - private Image AbrirMapa(Rectangle mapa) - private void DibujarMalla() - private void DibujarConexion(BBDD.EstacionRow estacion1, BBDD.EstacionRow estacion2) - private void DibujarConexionTramosPlantaRecto(BBDD.CoordenadasPlantaRow coordenada1, BBDD.CoordenadasPlantaRow coordenada2) - private void DibujarConexionTramosPlantaCurvo(BBDD.CoordenadasPlantaRow coordenada1, BBDD.CoordenadasPlantaRow coordenada2, double angulo) - private void DibujarEstaciones() - private void DibujarEstacionAislada(BBDD.EstacionRow estacion) - private void DibujarSubestaciones() - private void DibujarSubestacion(BBDD.SubestacionElectricaRow subestacion) - private void DibujarTramoPlanta(BBDD.CoordenadasPlantaRow tramoPlanta) - private void DibujarPuestasParalelo() - private void DibujarPuestaParalelo(BBDD.PuestaParaleloRow puesta) - public void Dispose()

SimulacionCirculacion
<ul style="list-style-type: none"> - Esta clase es la encargada de realizar los cálculos de las posiciones de los trenes en la simulación.
Atributos
<ul style="list-style-type: none"> - private Proyecto _proyecto; - private int _velocidadLectura; - private bool _simulacionActiva; - private TimeSpan _momentoActual; - private string[] _archivosSimulacionCirculacion; - private string[] _nombreSimulacionCirculacion; - private bool[] _activacionSimulacionCirculacion; - private bool[] _completaSimulacionCirculacion; - private StreamReader[] _descriptorSimulacionCirculacion; - private TimeSpan[] _inicioSimulacionCirculacion; - private TimeSpan[] _finalSimulacionCirculacion; - private bool _cambioEstadoCualquierCirculacion;
Métodos
<ul style="list-style-type: none"> - public bool CambioEstadoCualquierCirculacion - public bool SimulacionActiva - public SimulacionCirculacion(Proyecto proyecto, List<string> archivosSimulacionCirculaciones, CapasEsquemaGeorref _capasSYCE) - private TimeSpan CirculacionMasTemprana() - private void ComprobarCirculacionesSimulacion() - private string[] LeerHastaMomento(TimeSpan momento) - public List<List<object>> ObtenerLocalizacionTrenes() - private void FinalizarCirculacionesSimulacion() - public int ObtenerVelocidadLectura() - public void AumentarVelocidadLectura() - public void DisminuirVelocidadLectura() - public TimeSpan ConsultarInstante() - public List<string> CirculacionesActivas() - public List<string> CirculacionesPreparadas() - public List<string> CirculacionesFinalizadas() - internal string[] InformacionCirculacion(string circulacionSeleccionada) - internal int ComprobarEstadoCirculacion(string circulacionSeleccionada) - internal string LocalizacionCirculacionReposo(string circulacionSeleccionada)

Municipios
<ul style="list-style-type: none"> - Se trata de la clase principal de los municipios, se encarga de la representación de los municipios.
Atributos
<ul style="list-style-type: none"> - private OleDbConnection[] _conexiones; - private System.Threading.Mutex _mutex; - private bool _problemasEstablecerConexion; - private const string todasProvincias = "Reino de España"; - private static string[] _provincias; - private static List<string> _municipios; - private static List<List<string>> municipiosGeolocalizados; - private static List<List<string>> capitales;
Métodos
<ul style="list-style-type: none"> - public bool ProblemasEstablecerConexion - public Municipios(DirectorioTrabajo directorioTrabajo) - private int Conectar() - private void CerrarConexion(int conexion) - public string[] GetProvincias() - public List<string> GetMunicipios(string provincia) - public List<List<string>> GetCoordenadasMunicipios() - public List<List<string>> GetCoordenadasCapitales() - public Point GetCoordenadaMunicipio(string nombreProvincia, string nombreMunicipio, Point centroMapa)

LatitudLongitudToSyce
<ul style="list-style-type: none"> - Esta clase se encarga de realizar un cambio de sistema de georreferenciación.
Atributos
<ul style="list-style-type: none"> - private double _semiejeMayor; - private double _semiejeMenor; - private double _excentricidad; - private double _segundaExcentricidad; - private double _segundaExcentricidadCuadratica; - private double _radioPolarCurvatura; - private double _aplanamiento;
Métodos
<ul style="list-style-type: none"> - public LatitudLongitudToSyce() - public PointF Convertir(double longitud, double latitud)

DlgSeleccionarMunicipio
<ul style="list-style-type: none"> - Es un formulario auxiliar cuya función es de especificar la comunidad autónoma de un municipio cuando existen dos que se llaman igual en distintas provincias.
Interfaz gráfica

Ilustración 43 - Imagen del formulario DlgSeleccionarMunicipio
Atributos
<ul style="list-style-type: none"> - private System.Windows.Forms.DlgSeleccionarMunicipio - private System.Windows.Forms.GroupBox groupBox1; - private System.Windows.Forms.Label label1; - private System.Windows.Forms.Button botonCancelar; - private System.Windows.Forms.Button botonAceptar; - private RadioButton[] _radioButtons; - private int _indiceMunicipioSeleccionado;
Métodos
<ul style="list-style-type: none"> - public DlgSeleccionarMunicipio(List<List<string>> municipios, OleDbConnection con) - public int IndiceMunicipioSeleccionado - private void ClickBotonCancelar(object sender, EventArgs e) - private void ClickBotonAceptar(object sender, EventArgs e)

5.3 Modelo de datos

En esta sección se muestran los datos que son necesarios para el proyecto, existen 4 fuentes distintas de datos y todas combinadas sirven para poder realizar simulaciones de circulación sobre cartografía cargada dinámicamente.

5.3.1 Modelo de datos de proyecto

A continuación se muestra un fragmento del modelo relacional de tablas de un proyecto. Este modelo de datos no pertenece exclusivamente a este proyecto fin de grado, ya existía y es utilizado en el proyecto 'SYCE', únicamente han sido añadidos atributos como 'Coordenada X', 'Coordenada Y' y 'Huso' para conocer la localización del elemento ferroviarios. Estos elementos son almacenados como archivos locales con estructura XML.

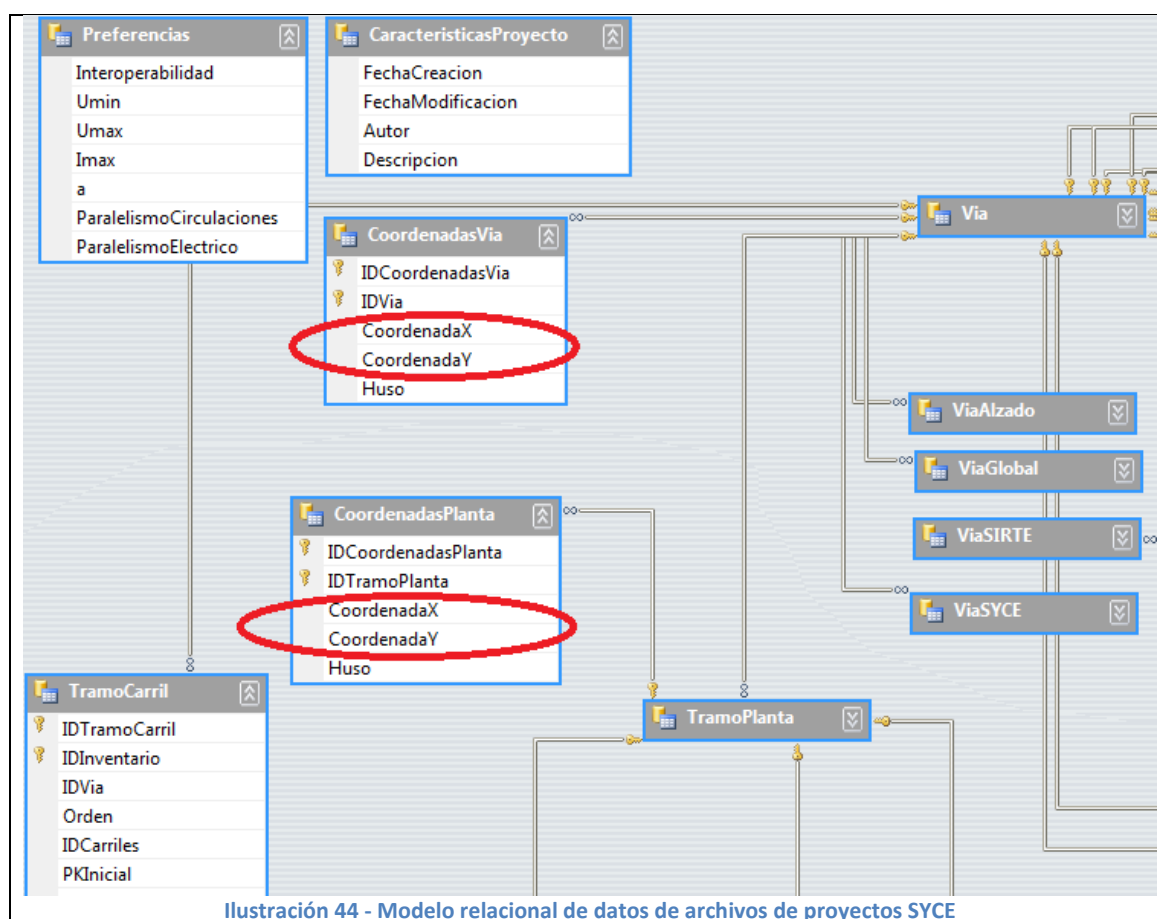


Ilustración 44 - Modelo relacional de datos de archivos de proyectos SYCE

5.3.2 Modelo de base de datos de municipios

Esta base de datos se encuentra en un archivo de Access, se trata de un archivo con información de los municipios españoles lanzado periódicamente por el INE, Instituto Nacional de Estadística. La información de este archivo que utilizamos es: los nombres de los municipios, las coordenadas de su ubicación, la provincia a la que pertenece.

El archivo cuenta con mucha más información que no utilizamos, como por ejemplo, los nombres que han tenido anteriormente los municipios, su población... La razón por la que pese a que no aprovechamos toda la información no creamos un nuevo archivo con únicamente la información que nos interesa es la posibilidad de actualización únicamente substituyendo el archivo. Por otro lado esta información que no aprovechamos no es molesta debido a que se encuentran en tablas distintas a las que utilizamos.

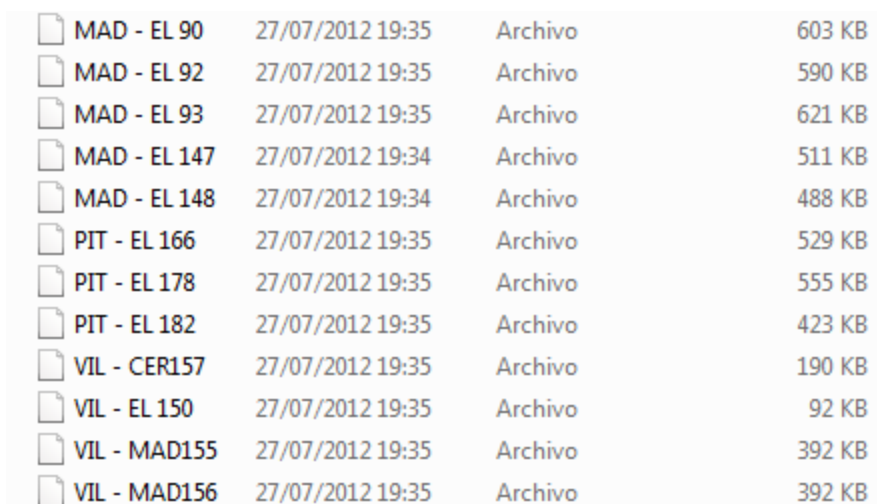
A continuación se presentan 3 de las 12 tablas de la base de datos que utilizamos para georreferenciar los municipios en la aplicación:

Provincia	Municipios_general	Municipios_coordenadas
Cod_ca	Cod_ine	Cod_ine
Comunidad/Ciudad auto.	Nombre_actual	Cod_prov
Cod_pro	Población_muni	Longitud
Provincia	Superficie	Latitud
Capi_prov	Perimetro	Origen_coord
	Cod_prov	Altura
		Origen_alturas

Tabla 67 - Tablas del modelo base de datos de municipios

5.3.3 Modelo de datos de circulaciones válidas

Las circulaciones validadas se encuentran como archivos de texto dentro de una carpeta en el mismo directorio que el proyecto. Cada circulación está programada en un archivo de texto.



MAD - EL 90	27/07/2012 19:35	Archivo	603 KB
MAD - EL 92	27/07/2012 19:35	Archivo	590 KB
MAD - EL 93	27/07/2012 19:35	Archivo	621 KB
MAD - EL 147	27/07/2012 19:34	Archivo	511 KB
MAD - EL 148	27/07/2012 19:34	Archivo	488 KB
PIT - EL 166	27/07/2012 19:35	Archivo	529 KB
PIT - EL 178	27/07/2012 19:35	Archivo	555 KB
PIT - EL 182	27/07/2012 19:35	Archivo	423 KB
VIL - CER157	27/07/2012 19:35	Archivo	190 KB
VIL - EL 150	27/07/2012 19:35	Archivo	92 KB
VIL - MAD155	27/07/2012 19:35	Archivo	392 KB
VIL - MAD156	27/07/2012 19:35	Archivo	392 KB

Ilustración 45 - Imagen de directorio de circulaciones válidas en el Explorador de Windows

Los archivos llevan una estructura interna en la cada línea representa una posición del tren en un instante dado y separados por espacios se presentan valores como:

- El segundo desde simulación desde que comenzó la circulación
- El tiempo en segundos hasta el siguiente cálculo de posición
- La vía en la que se encuentra
- El punto kilométrico en el que se encuentra
- La velocidad instantánea a la que circula
- La velocidad de aceleración, si el tren está acelerando.
- La velocidad de frenado, si el tren tiene activo el freno.
- La distancia recorrida desde que comenzó la simulación.
- La distancia que queda para llegar a la estación de destino.

5.3.4 Modelo de datos de imágenes de mapas cartográficos en caché

Las imágenes de mapas cartográficos son descargadas en imágenes cuadradas con una resolución de 1000 x 1000 píxeles.

Dependiendo de la altura desde la que se visualizaba la superficie cada imagen representa más o menos kilómetros. Las representaciones de kilómetros visibles en las imágenes son estas:

- 2.000 metros por cada 1.000 píxeles, imágenes de 4 km².
- 10.000 metros por cada 1.000 píxeles, imágenes de 100 km².
- 50.000 metros por cada 1.000 píxeles, imágenes de 2.500 km².
- 250.000 metros por cada 1.000 píxeles, imágenes de 62.500 km².

Las imágenes se encuentra guardadas en el directorio llamado Mapas de la carpeta de la aplicación y es guardada cada imagen en un archivo “.jpg”.

El formato de nombre de estos archivos es:

Servidor	Metros / 1000 pix	Localización X	Localización Y	Extensión
PNOA	-T 10000	-X 260000	-Y 4580000	.jpg

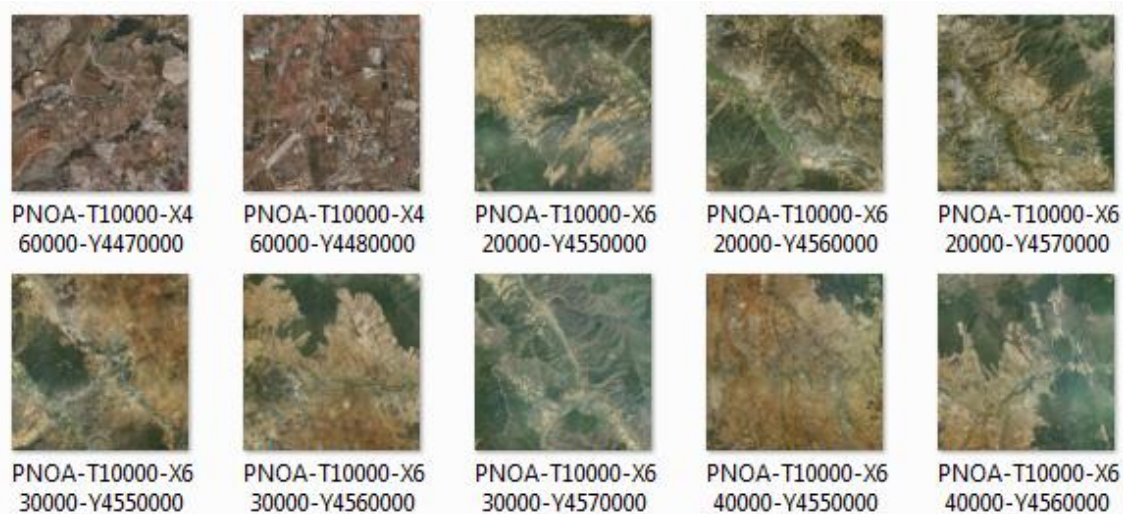


Ilustración 46 - Imagen de directorio de imágenes de mapas en caché



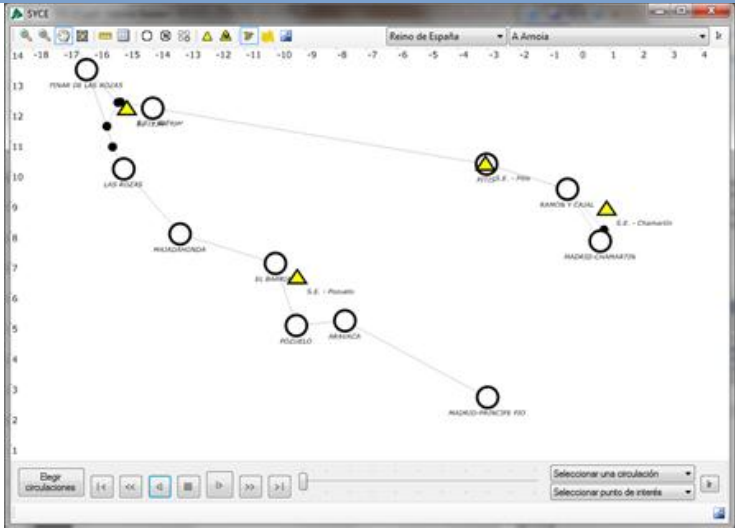
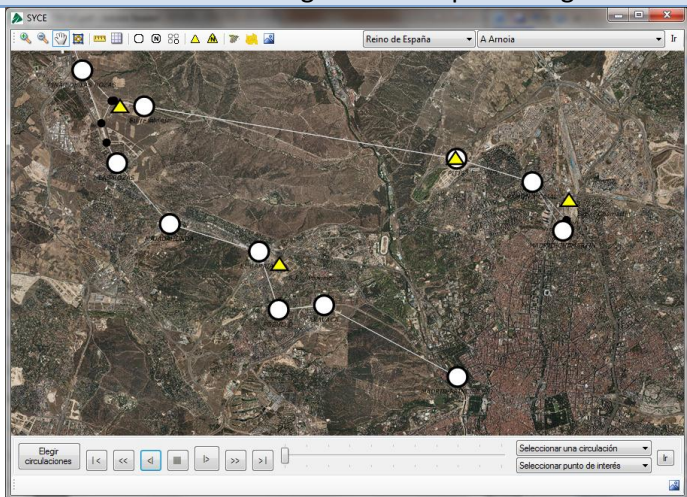
6 Pruebas

Una vez finalizado el análisis, diseño y codificación del proyecto vamos a realizar pruebas de funcionamiento para verificar que el programa funciona correctamente.

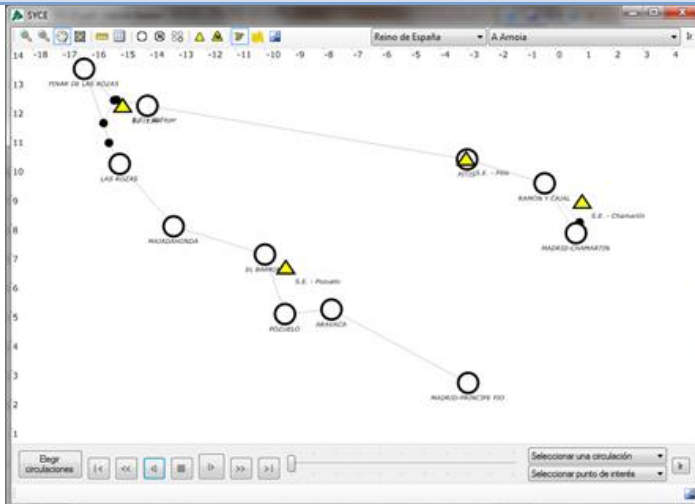
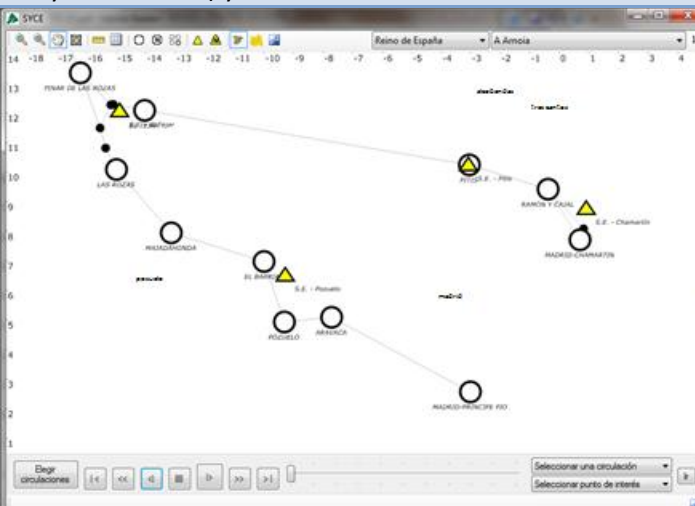
Se ha experimentado con multitud de pruebas, pero en esta sección de pruebas del documento se van a presentar 6 pruebas de ellas, una por cada caso de uso exceptuando los dos últimos casos de uso que corresponden a Simular circulaciones de trenes, que únicamente trata de la reproducción del movimiento del tren que será combinado con el caso de uso de Manejar simulación de la circulación, el cuál añade control a la reproducción de la circulación como avance rápido, pausa, reanudación y interrupción. Dando así por demostrado el funcionamiento del proyecto.

Las pruebas que se van a presentar son:

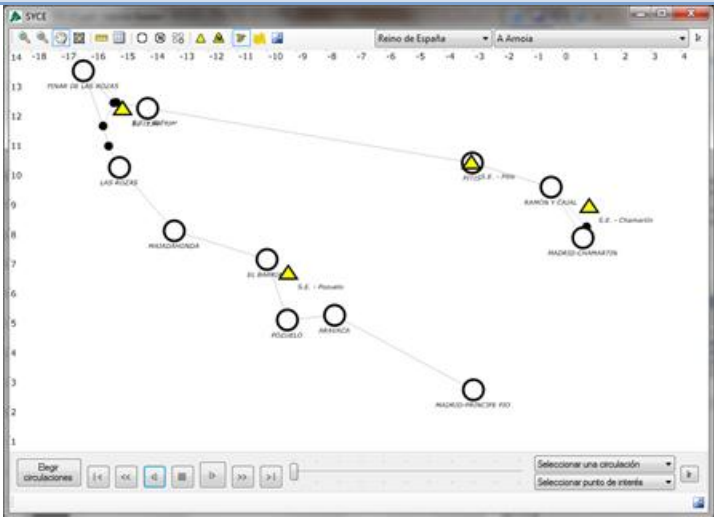
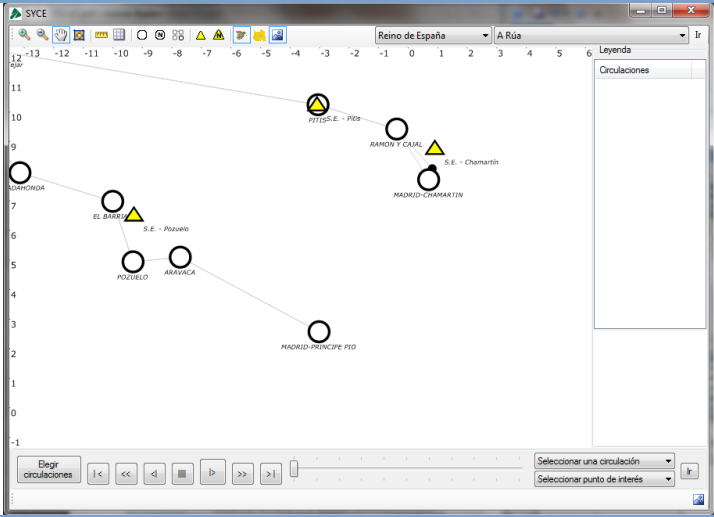
- Mostrar / ocultar mapas cartográficos
- Localización de municipios
- Mostrar / ocultar leyenda de circulaciones
- Examinar mapa
- Selección de circulaciones de trenes para simular
- Simular circulaciones de trenes / Manejar simulación de circulación

Caso de prueba 1: Mostrar / ocultar mapas cartográficos	
Caso de uso:	CU01
Objetivo:	El usuario puede decidir si quiere visualizar las imágenes de los mapas cartográficos en el sistema.
Estado actual:	El simulador presenta la pantalla de simulación de circulaciones. Los mapas cartográficos se encuentran desactivados y en el simulador se muestran las instalaciones ferroviarias, como las subestaciones eléctricas, estaciones y las vías que las unen.
Pantallazo del estado actual:	
Prueba:	Activar cartografía
Criterio de aceptación:	En el simulador se deben mostrar los elementos ferroviarios y las imágenes de mapas cartográficos.
Nuevo estado:	El simulador ahora muestra los anteriores elementos enumerados y adicionalmente se muestra las imágenes de mapas cartográficos.
Pantallazo del nuevo estado:	
Evaluación	Prueba aprobada

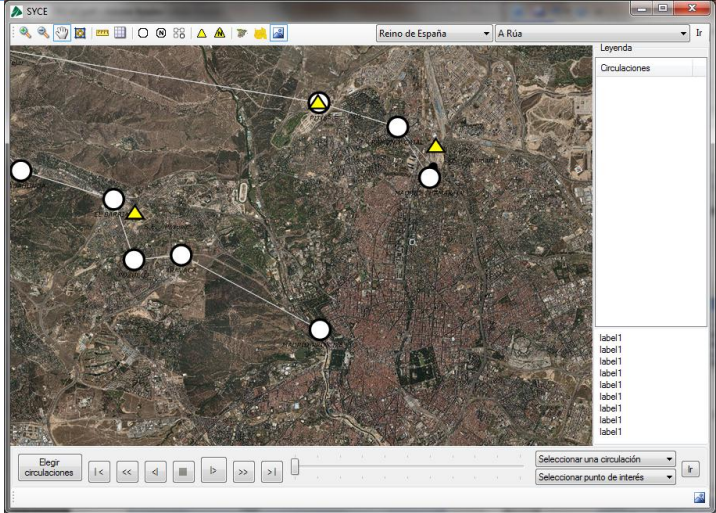
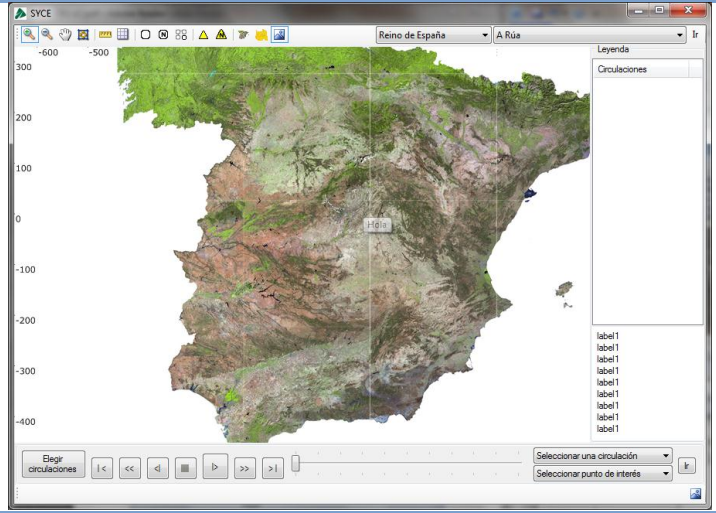
6.2 Caso de prueba 2

Caso de prueba 2: Localización de municipios	
Caso de uso:	CU02
Objetivo:	El usuario puede decidir si quiere visualizar la localización en el mapa de los municipios
Estado actual:	El simulador presentar la pantalla de simulación de circulaciones. Se muestran las instalaciones ferroviarias, como las subestaciones eléctricas, estaciones y las vías que las unen.
Pantallazo del estado actual:	
Prueba:	Localización de municipios
Criterio de aceptación:	En el simulador se deben mostrar los municipios en el simulador
Nuevo estado:	Además de los elementos mostrados de las instalaciones ferroviarias se muestran algunos nombres de municipios. Dos se encuentran en el norte (Alcobendas y Tres Cantos) y en el centro Madrid.
Pantallazo del nuevo estado:	
Evaluación	Prueba aprobada

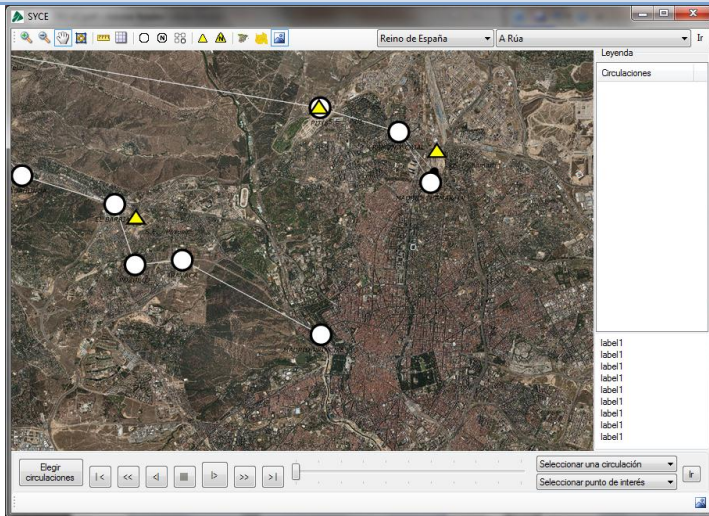
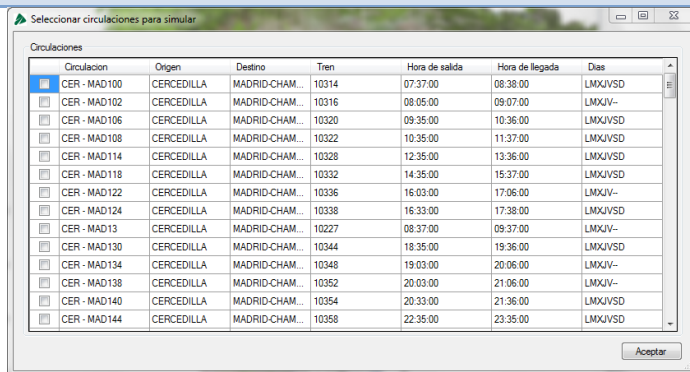
6.3 Caso de prueba 3

Caso de prueba 3: Mostrar / ocultar leyenda de circulaciones	
Caso de uso:	CU03
Objetivo:	El usuario puede decidir si quiere visualizar la leyenda de las circulaciones.
Estado actual:	El simulador presentar la pantalla de simulación de circulaciones. Se muestran las instalaciones ferroviarias, como las subestaciones eléctricas, estaciones y las vías que las unen.
Pantallazo del estado actual:	
Prueba:	Leyenda de circulaciones
Criterio de aceptación:	En el simulador se deben mostrar una leyenda de circulaciones. Como se trata de una prueba unitaria de la leyenda, ésta aparecerá vacía, en el caso que hubiera circulaciones seleccionadas, éstas estarían.
Nuevo estado:	Además de los elementos mostrados de las instalaciones ferroviarias el la parte derecha de la aplicación se muestra la leyenda.
Pantallazo del nuevo estado:	
Evaluación	Prueba aprobada

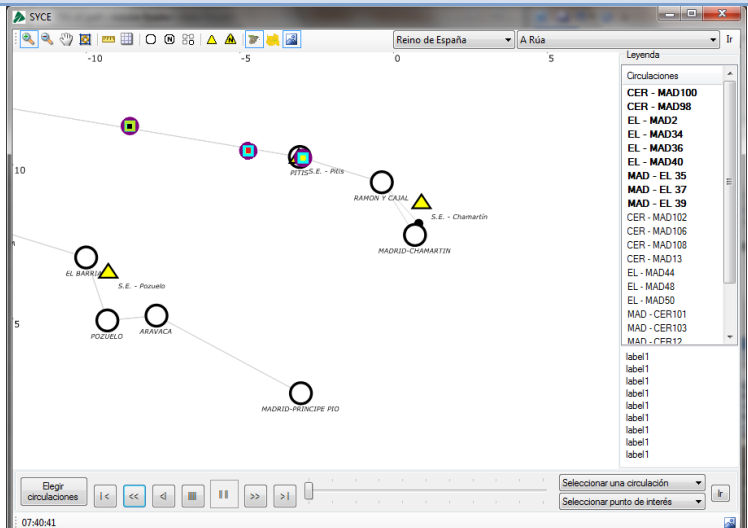
6.4 Caso de prueba 4

Caso de prueba 4: Examinar mapa	
Caso de uso:	CU04
Objetivo:	El usuario puede examinar el mapa.
Estado actual:	El simulador presentar la pantalla de simulación de circulaciones. Se muestran las instalaciones ferroviarias, como las subestaciones eléctricas, estaciones y las vías que las unen. Adicionalmente se encuentran activadas la leyenda y las imágenes cartográficas.
Pantallazo del estado actual:	
Prueba:	Examinar mapa. Vamos ha hacer zoom hacia atrás agrandando el campo de visión.
Criterio de aceptación:	En el simulador se deben mostrar la nueva visualización del mapa.
Nuevo estado:	Visualizamos en pantalla un mapa completo de la península ibérica.
Pantallazo del nuevo estado:	
Evaluación	Prueba aprobada

6.5 Caso de prueba 5

Caso de prueba 5: Selección de circulaciones de trenes para simular	
Caso de uso:	CU05
Objetivo:	<ul style="list-style-type: none"> - Se mostrará un listado de circulaciones disponibles para poder ser simuladas. - El usuario podrá seleccionar aquella circulación deseada o todas aquellas que estime oportuno para ser simuladas.
Estado actual:	El simulador presenta la pantalla de simulación de circulaciones. Se muestran las instalaciones ferroviarias, como las subestaciones eléctricas, estaciones y las vías que las unen. Adicionalmente se encuentran activadas la leyenda y las imágenes cartográficas.
Pantallazo del estado actual:	
Prueba:	Selección de circulaciones para ser simuladas
Criterio de aceptación:	Se mostrará al usuario un nuevo formulario con circulaciones disponibles para que elija circulaciones.
Nuevo estado:	Nuevo formulario con circulaciones para simular.
Pantallazo del nuevo estado:	
Evaluación	Prueba aprobada

6.6 Caso de prueba 6

Caso de prueba 6 / 7: Simulación circulaciones / Manejo simulación	
Caso de uso:	CU06, CU07
Objetivo:	El usuario puede decidir si quiere visualizar la localización en el mapa de los municipios
Estado actual:	El simulador presentar la pantalla de simulación de circulaciones. Se muestran las instalaciones ferroviarias, como las subestaciones eléctricas, estaciones y las vías que las unen. Adicionalmente se encuentran activadas la leyenda en la que podemos observar que ahora en la leyenda aparecen las circulaciones en simulación. Las imágenes cartográficas han sido desactivadas para poder ver los trenes representados en la imagen. Se tratan de los círculos de colores que podemos ver en el cuadrante de arriba a la izquierda.
Pantallazo del estado actual:	
Prueba:	Manejo de circulaciones
Criterio de aceptación:	<ul style="list-style-type: none"> - El usuario acelere la simulación y los trenes vayan más rápido. - El usuario desacelere la simulación y los trenes vayan más lentos. - El usuario pause la simulación y los trenes queden congelados. - El usuario reanude la simulación y los trenes vuelvan al movimiento.
Nuevo estado:	Además de los elementos mostrados de las instalaciones ferroviarias se muestran las circulaciones de trenes simulados.
Pantallazo del nuevo estado:	Debido a que se trata de imágenes en movimiento no es posible facilitar la animación en papel. En la presentación será mostrado.
Evaluación	Prueba aprobada



PRESUPUESTO

7 Presupuesto

Esta sección plantea el coste que monetario que lleva asociada la realización de este trabajo final de grado. Contempla el gasto personal y de recursos.

Este es el calendario del año 2012, en él se ha marcado los días de avance en el trabajo final de grado.

AÑO 2012																							
Enero de 2012							Febrero de 2012							Marzo de 2012									
L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D			
						1			1	2	3	4	5				1	2	3	4			
2	3	4	5	6	7	8	6	7	8	9	10	11	12	5	6	7	8	9	10	11			
9	10	11	12	13	15	15	13	15	15	16	17	18	19	12	13	15	15	16	17	18			
16	17	18	19	20	21	22	20	21	22	23	24	25	26	19	20	21	22	23	24	25			
23	24	25	26	27	28	29	27	28	29					26	27	28	29	30	31				
30	31																						
Abril de 2012							Mayo de 2012							Junio de 2012									
L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D			
						1		1	2	3	4	5	6					1	2	3			
2	3	4	5	6	7	8	7	8	9	10	11	12	13	4	5	6	7	8	9	10			
9	10	11	12	13	15	15	15	15	16	17	18	19	20	11	12	13	15	15	16	17			
16	17	18	19	20	21	22	21	22	23	24	25	26	27	18	19	20	21	22	23	24			
23	24	25	26	27	28	29	28	29	30	31				25	26	27	28	29	30				
30																							
Julio de 2012							Agosto de 2012							Septiembre de 2012									
L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D			
						1			1	2	3	4	5						1	2			
2	3	4	5	6	7	8	6	7	8	9	10	11	12	3	4	5	6	7	8	9			
9	10	11	12	13	15	15	13	15	15	16	17	18	19	10	11	12	13	15	15	16			
16	17	18	19	20	21	22	20	21	22	23	24	25	26	17	18	19	20	21	22	23			
23	24	25	26	27	28	29	27	28	29	30	31			24	25	26	27	28	29	30			
30	31																						

7.1 Ciclo de vida

Para el desarrollo del trabajo, se ha elegido como modelo de ciclo de vida el modelo de desarrollo en cascada retroalimentada. Este ciclo de vida consta de las siguientes etapas:

- Análisis: Se trata de la primera etapa del ciclo de vida. En esta etapa se analizan las necesidades de los usuarios finales y qué objetivos se desean cubrir.
- Diseño: Evaluación y conceptualización de sistema, se especifica qué características se esperan del sistema, que tecnología será utilizada y especificaciones de requisitos que deben ser cumplidos.
- Codificación: Desarrollo del código fuente del sistema en el entorno de trabajo. Aquí surgen ya los primeros prototipos de pruebas para ensayos utilizados para corregir errores.
- Integración: Puesta en funcionamiento del sistema en desarrollo.
- Mantenimiento: Mantenimiento, corrección de errores o actualizaciones del sistema a nuevas funcionalidades.

Las etapas son desarrolladas de manera secuencial y tras la aceptación de la etapa se pasa a la siguiente. En cualquier momento es posible volver de una etapa a una etapa anterior, de nuevo, para replanificar.

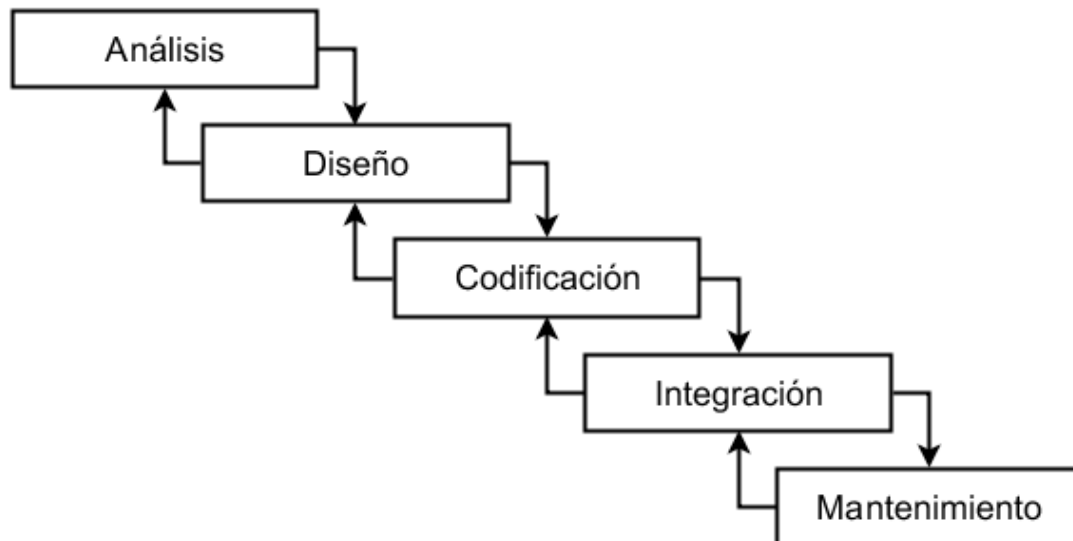


Ilustración 47 - Ciclo de vida en cascada retroalimentada

Las principales ventajas de la utilización de este tipo de ciclo de vida software son:

- Sencilla planificación y evaluación de tareas. Antes de pasar de una etapa a la siguiente, se realiza una valoración de si la etapa ha cubierto todas las necesidades o han sido cumplidos todos los requisitos.
- Corregir un error es sencillo, tan solo es necesario pasar de la etapa a la etapa anterior en la que se ha producido y corregirlo. Tras la corrección se deberá de nuevo hacer la valoración si ya se han cubierto todas las necesidades o se han cumplido todos los requisitos, en caso afirmativo, se pasaría a la siguiente etapa..

Por otro lado, los principales inconvenientes de este tipo de ciclo de vida son:

- Metodología lenta. Es una metodología de constante saltos de etapas, siempre que se detecta un error, se volverá de nuevo a la etapa anterior, donde surgió. Tras la corrección, de nuevo será corregido una valoración si se puede ya acceder a la siguiente etapa.
- Alto coste de corrección de un error en fases tardías de desarrollo. Si se detecta un error en etapas tardías del desarrollo y ese error se encuentra en una etapa muy tardía. Se descenderá hasta el nivel donde surgió el problema, tras el cual al haber sido reparado se deberán de valorar el acceso a posterior etapa.
- Dificultad de estimar todos los requisitos al comienzo del proyecto. Al comienzo de un proyecto, al estimar los primeros requisitos debido a que no se domina del todo el tema es posible que surja un error en uno de ellos y se tenga que empezar, de nuevo, a valorar si la siguiente etapa puede ser accedida.

7.2 Fases de desarrollo

Fase	Duración	Etapa ciclo de vida	Descripción
Familiarización de los conceptos ferroviarios	3 días	Análisis	Estudio de todos los elementos en general ferroviarios.
Familiarización con el entorno de desarrollo de la aplicación	7 días	Análisis	Estudio de todo lo que envuelve el desarrollo del simulador ferroviario SYCE.
Estudio del estado actual de la aplicación en desarrollo	7 días	Análisis	Comprobación minuciosa del estado actual del sistema en búsqueda de donde se debe de hacer cambios de tal manera que estos cambios no perjudiquen al funcionamiento actual del sistema.
Estudio de sistemas georreferenciación	4 días	Análisis	Búsqueda de tecnologías para la representación de imágenes de mapas cartográficos y localización de puntos.
Estudio de cambios en el desarrollo de la aplicación	14 días	Diseño	Estimación de cambios que se deben de realizar en el sistema actual que no perjudican el funcionamiento del sistema al ser añadidos.
Especificación de los requisitos del sistema	29 días	Diseño	Redacción de requisitos de usuario y de software que definen el proyecto.
Planificación	8 días	Diseño	Redacción de la documentación del proyecto.
Presupuesto	3 días	Diseño	Estimación del coste personal y de recursos que conlleva la realización del sistema.
Desarrollo de la aplicación	16 días	Codificación	Programación e implementación en el proyecto de las clases definidas en la fase de diseño.
Pruebas	4 días	Codificación	Comprobación del correcto funcionamiento del sistema y mantenimiento correctivo en caso de que se detecte alguna anomalía.
Mantenimiento y puesta en producción	2 días	Integración Mantenimiento	Integración en producción del sistema terminado para su funcionamiento.

7.2.1 Diagrama de Gantt de fases de desarrollo

El diagrama de Gantt se trata de una gráfica cuya función es mostrar el tiempo dedicado a las distintas tareas o actividades en un tiempo determinado. El diagrama de Gantt de las fases de desarrollo del proyecto es el que se muestra a continuación.

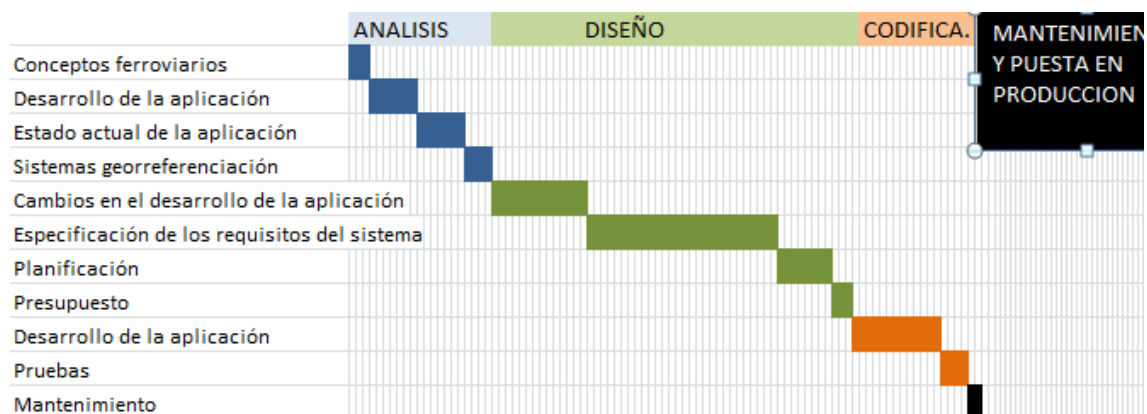


Ilustración 48 - Diagrama de Gantt del desarrollo del proyecto

El diagrama de Gantt muestra la dedicación dada a cada una de las 11 tareas del proyecto, adicionalmente asociados por colores está asociada la tarea con cada una de las etapas del ciclo de vida. En total, en el diagrama de Gantt, suman un total de 97 días, que son los mismos que suman los días de las fases de desarrollo y los presupuestados.

7.3 Recursos humanos

7.3.1 Salario percibido

Son los costes asociados a la mano de obra humana que interviene en el desarrollo del sistema.

Categoría	Dedicación	Coste diario	Total
Analista	32 días	88,15 euros	2.820,80 euros
Programador	97 días	62,26 euros	5.069,22 euros

7.3.2 Abono seguridad social del personal

Son los costes que se deben abonar a la seguridad social por tener mano de obra ajena contratada

Salario percibidos	Cuota	Abono seguridad social
7.890,02 euros	32 %	2.524,81 euros

7.4 Bienes

7.4.1 Bienes intangibles

Descripción	Desarrollador	Cantidad	Coste unitario	Coste total
Windows 7 Professional	Microsoft	2	162,00 €	324,00 €
Office 2010	Microsoft	1	139,00 €	139,00 €
Visual Studio 2008 Professional	Microsoft	2	499,00 €	998,00 €
Total:				1461,00 €

7.4.2 Desamortizaciones

Descripción	Coste	Utilización	Periodo desamortización	Coste aplicable
Ordenador	720,00 €	6 meses	36 meses	120,00 €
Ordenador	720,00 €	6 meses	36 meses	120,00 €
Total:				240,00 €

7.5 Resumen de costes

Presupuesto de costes totales	
Recursos humanos	10.414,83 €
Bienes	1.701,00 €
Subtotal:	12.155,83 €

Riesgo		
Base imponible	Cuota riesgo	Coste riesgo
12.155,83 €	20%	2.431,17 €

Impuesto de valor añadido		
Base imponible	Cuota beneficio	Total beneficio
14.587,00 €	10%	1.458,70 €

Impuesto de valor añadido		
Base imponible	Valor añadido	Impuesto
16.045,70 €	21%	3.369,60 €

El coste total del proyecto asciende a: 19.415,30 €

El precio total de este proyecto con precio total de 19.415,30 € (Diecinueve mil cuatrocientas quince euros con treinta céntimos). En dicho precio se incluyen los siguientes conceptos:

- Códigos fuentes
- Documentación relativa del proyecto
- Derechos de propiedad intelectual
- Derecho de explotación
- Derecho de distribución a terceros

En ningún caso no se incluyen los siguientes conceptos:

- Mantenimiento de la aplicación
- Futuras actualizaciones o incremento de funcionalidades



CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE TRABAJOS

8 Conclusiones y líneas futuras de trabajos

En esta sección se presentarán las conclusiones a las que hemos llegado tras la realización de este trabajo final de grado y las posibles nuevas líneas de trabajo futuras que se podrían desarrollar para completar aún más este simulador.

8.1 Conclusiones

Tras la finalización de este proyecto podemos afirmar que se han cumplido todos los objetivos principales que se pretendían conseguir por lo tanto podemos afirmar que ha sido un éxito el proyecto:

- Simulación en programa informático de circulaciones de tráfico ferroviario.

Se ha diseñado un simulador de circulaciones ferroviaria en la que los trenes circulan cumpliendo los horarios prefijados del trayecto detallando al usuario datos como la vía en la que circula, el punto kilométrico donde se sitúa, la velocidad instantánea de circulación, la distancia recorrida....

- Representación del tráfico simulado sobre imágenes de mapas cartográficos obtenidos desde servidores externos.

Se ha conseguido mostrar presentar imágenes de mapas cartográficos sobre las instalaciones ferroviarias existentes y en la simulación de las circulaciones.

Por otro lado también hemos cumplido todos esos objetivos secundarios que se presentaron cuando se definió el proyecto. Estos objetivos secundarios fueron:

- Conocer y comprender los elementos que participan en las circulaciones ferroviarias y que afectan al movimiento del tren.

Se ha comprendido y aprendido esos elementos que participan en una circulación ferroviaria y cómo funciona el movimiento de los trenes en el mundo real.

- Conocimiento y comprensión de sistemas de georreferenciación cartográfica para añadir más realidad al simulador de tráfico ferroviario

Se han comprendido sistemas de georreferenciación, sus utilidades y sus ventajas e inconvenientes frente a otras alternativas.

- Conocimiento y comprensión de servicios web de cartografía digital.

Este objetivo no ha sido cumplido en su totalidad puesto que no se han evaluado otras tecnologías distintas de cartografía digital al Web Map Service y en concreto únicamente se han aprovechado los servicios suministrados por el servidor del Ministerio de Fomento PNOA.

- Conocimiento de los elementos ferroviarios que participan en el trazado de líneas ferroviarias.

Se han aprendido qué elementos ferroviarios existen en las infraestructuras y para qué sirven y de qué manera son utilizados.

- Aprender a utilizar el entorno de desarrollo de Microsoft .Net y más concretamente en el lenguaje Visual C#

Se han aprendido a utilizar el entorno de programación de Microsoft Visual Studio. Adicionalmente se ha podido ver la potencia de este entorno y la facilidad que tiene para la depuración de código en modo debug.

- Aprovechar los conocimientos adquiridos a lo largo de la titulación para el desarrollo de un código estructurado de forma tal que en futuras actualizaciones no opongan dificultades a la integridad del proyecto.

Se procurado la programación de un código bien estructurado, limpio y comentado en lugares de mayor dificultad para que si en un futuro es necesaria la modificación, ésta no presente gran dificultad para hacerla.

8.2 Líneas futuras de trabajo

El proyecto ha sido diseñado para incorporar nuevas funcionalidades al simulador SYCE, pero es posible que una vez acabado surgieran nuevas ideas y funcionalidades.

Una posibilidad de diseño para el futuro podría ser que el simulador pudiera llevar el seguimiento de las circulaciones en tiempo real por medio de un dispositivo GPS que llevarían incorporados los trenes y enviara su localización. Sería un funcionalidad a tiempo real en el que se podría detectar a priori antes de que ocurriera una colisión la posibilidad de que esta fuera a ocurrir y poner en marcha un protocolo para evitarlo.

Otra posibilidad de diseño para un futuro sería un algoritmo que conociendo todas las circulaciones de todos los tramos sea capaz programa los tiempos de una nueva circulación sin que exista riesgo de colisión. La nueva programación de circulación tan solo sería necesario especificar una estación de salida, una estación de llegada y un rango de horas en la que se desea que circule.

Otra posibilidad de diseño para líneas futuras sería diseñar un módulo compatible con varias tecnologías de obtención de mapas. Actualmente el simulador trabaja con Web Map Service y por tanto es compatible con todos aquellos servidores que ofrezcan ese servicio, pero dada la popularidad de los mapas de Google Maps sería interesante añadir el API de Google Maps al simulador.



REFERENCIAS

9 Referencias

9.1 Referencias bibliográficas

- [1] Jerónimo de Ayanz y Beaumont. Inventor español nacido en Navarra el año 1593. Fue el precursor del uso y diseño del motor de vapor. 1606
[\[http://es.wikipedia.org/wiki/Jerónimo_de_Ayanz_y_Beaumont\]](http://es.wikipedia.org/wiki/Jerónimo_de_Ayanz_y_Beaumont)
(Visitado 02/09/2012)
- [2] Richard Trevithick. Inventor británico nacido el 13 de Abril de 1771. Se le atribuye la invención de la locomotora a vapor en el año 1802.
[\[http://www.britannica.com/EBchecked/topic/604469/Richard-Trevithick\]](http://www.britannica.com/EBchecked/topic/604469/Richard-Trevithick)
(Visitado 02/09/2012)
- [3] Samuel Homfray. Empresario británico nacido en 1762, propietario de una fundición el cual compró la patente a Richard Trevithick de la locomotora a vapor.
[\[http://es.wikipedia.org/wiki/Locomotora_de_vapor#Origen\]](http://es.wikipedia.org/wiki/Locomotora_de_vapor#Origen)
(Visitado 02/09/2012)
- [4] Directiva 91/440 aprobada el 29 de Julio del año 1991. Directiva de desarrollo de ferrocarriles comunitarios.
[\[http://europa.eu/legislation_summaries/transport/rail_transport/l24057_es.htm\]](http://europa.eu/legislation_summaries/transport/rail_transport/l24057_es.htm)
(Visitado 02/09/2012)
- [7] George Stephenson, diseñador de la primera locomotora fiable y usable de la época.
[\[http://www.britannica.com/EBchecked/topic/565513/George-Stephenson\]](http://www.britannica.com/EBchecked/topic/565513/George-Stephenson)
(Visitado 01/09/2012)
- [13] Récord de velocidad de tren por levitación magnética.
[\[http://www.rtve.es/noticias/20100224/trenes-vuelan-sobre-vias/320069.shtml\]](http://www.rtve.es/noticias/20100224/trenes-vuelan-sobre-vias/320069.shtml)
(Visitado 01/09/2012)
- [17] R.E.N.F.E.
Historia de RENFE:
[\[http://es.wikipedia.org/wiki/Red_Nacional_de_los_Ferrocarriles_Espanoles\]](http://es.wikipedia.org/wiki/Red_Nacional_de_los_Ferrocarriles_Espanoles)
Video - Documental 30 años de RENFE [\[http://youtu.be/J7RzKjK3JOQ\]](http://youtu.be/J7RzKjK3JOQ)
(Visitado 01/09/2012)
- [18] Renfe Operadora. Compañía de trenes española.
[\[http://www.renfe.es\]](http://www.renfe.es)
(Visitado 01/09/2012)
- [19] Adif. Compañía de infraestructuras ferroviarias española.
[\[http://www.adif.es\]](http://www.adif.es)
(Visitado 01/09/2012)

- [22] Muñoz Archidona, M., Saá, R.
Simulación del movimiento de trenes para minimizar el consumo energético y optimización para plataformas multicore. (España, Julio 2012) 108 pp.
- [23] Hermanos Wright. Primer vuelo de avión
[\[http://es.wikipedia.org/wiki/Hermanos_Wright\]](http://es.wikipedia.org/wiki/Hermanos_Wright)
[\[http://www.biografiasyvidas.com/biografia/w/wright_hermanos.htm\]](http://www.biografiasyvidas.com/biografia/w/wright_hermanos.htm)
[\[http://www.aviacionulm.com/wright.html\]](http://www.aviacionulm.com/wright.html)
[\[http://www.portalplanetasedna.com.ar/wright.htm\]](http://www.portalplanetasedna.com.ar/wright.htm)
(Visitado 01/09/2012)
- [24] Bae, C.H.
A simulation study of installation locations and capacity of regenerative absorption inverters in DC 1500 V electric railways system.
Simulation Modelling Practice and Theory 17 (5) (2009) 829–838.
- [25] Banerjee, N., Saha, A.K., Karmakar, R., Bhattacharyya R.
Bond graph modeling of a railway truck on curved track.
Simulation Modelling Practice and Theory 17 (1) (2009) 22–34
- [26] Yalçinkaya, O., Bayhan, G.M.
A feasible timetable generator simulation modelling framework for train scheduling problem.
Simulation Modelling Practice and Theory 20 (1) (2012) 124–141.
- [27] Real Academia de la Lengua Española
[\[http://www.rae.es\]](http://www.rae.es)
(Visitado 01/09/2012)
- [28] Universidad Estatal de Ohio
[\[http://osu.edu/\]](http://osu.edu/)
(Visitado 01/09/2012)

9.2 Referencias a recursos de sitios web

- [0] Tranvía de tracción animal
[\[http://www.portaldesalta.gov.ar/fot2009/tranv2.jpg\]](http://www.portaldesalta.gov.ar/fot2009/tranv2.jpg)
(Visitado 26/09/2012)
- [5] Retrato de Richard Trevithick
[\[http://es.wikipedia.org/wiki/Richard_Trevithick\]](http://es.wikipedia.org/wiki/Richard_Trevithick)
(Visitado 26/09/2012)
- [6] Locomotora de Trevithick
[\[http://en.wikipedia.org/wiki/File:TrevithicksEngine.jpg\]](http://en.wikipedia.org/wiki/File:TrevithicksEngine.jpg)
(Visitado 26/09/2012)
- [8] Retrato de George Stephenson
[\[http://es.wikipedia.org/wiki/George_Stephenson\]](http://es.wikipedia.org/wiki/George_Stephenson)
(Visitado 26/09/2012)
- [9] Locomotora Rocket de Stephenson
[\[http://cfs6.blog.daum.net/image/26/blog/2007/06/01/00/10/465ee5532bbaa&filename=%EC%82%AC%EC%9A%A9%EC%9E%90%20%EC%A7%80%EC%A0%95%201.jpg\]](http://cfs6.blog.daum.net/image/26/blog/2007/06/01/00/10/465ee5532bbaa&filename=%EC%82%AC%EC%9A%A9%EC%9E%90%20%EC%A7%80%EC%A0%95%201.jpg)
(Visitado 26/09/2012)
- [10] Locomotora Mikado de Renfe de vapor de principio siglo XX
[\[http://es.wikipedia.org/wiki/Locomotora_Mikado\]](http://es.wikipedia.org/wiki/Locomotora_Mikado)
(Visitado 26/09/2012)
- [11] Locomotora diesel
[\[http://es.wikipedia.org/wiki/Locomotora_diésel-eléctrica\]](http://es.wikipedia.org/wiki/Locomotora_diésel-eléctrica)
(Visitado 26/09/2012)
- [12] Tren eléctrico
[\[http://www.generaccion.com/noticia/imagenes/grandes/149085-06_04_2012_14_09_52_1621543871.jpg\]](http://www.generaccion.com/noticia/imagenes/grandes/149085-06_04_2012_14_09_52_1621543871.jpg)
(Visitado 26/09/2012)
- [14] Funcionamiento de tren de tren de levitación magnética
[\[http://www.sh-maglev.com/56/\]](http://www.sh-maglev.com/56/)
(Visitado 26/09/2012)
- [15] Tren de levitación magnética
[\[http://futureblog.pl/2011/02/usa-stawia-na-szybka-kolej/\]](http://futureblog.pl/2011/02/usa-stawia-na-szybka-kolej/)
(Visitado 26/09/2012)
- [16] Logotipo Renfe antes de su cierre
[\[http://diloengrafico.wikispaces.com/Logos,+logotipos+y+logos%C3%ADmbolos\]](http://diloengrafico.wikispaces.com/Logos,+logotipos+y+logos%C3%ADmbolos)
(Visitado 28/08/2012)

- [20] Logotipo actual de Renfe Operadora
[<http://www.renfe.es>]
(Visitado 28/08/2012)
- [21] Logotipo actual de Adif
[<http://www.adif.es>]
(Visitado 28/08/2012)
- [29] Geoide
[http://www.enjoyspace.com/uploads/editorial_cases/avril2009/climat/geoid.jpg]
(Visitado 26/08/2012)
- [30] Elipsoide
[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Geographic_coordinates_sphere.svg]
(Visitado 26/08/2012)
- [31] Diferencia entre geoide y elipsoide
[<http://nacc.upc.es/tierra/img/elipsoide-geoide.png>]
(Visitado 04/09/2012)
- [32] Región de ajuste de elipsoide
[<http://www.unal.edu.co/siamac/sig/elipsoide.html>]
(Visitado 01/09/2012)
- [33] Funcionamiento de sistema de coordenadas
[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Coordenadas_esféricas_figura.svg]
(Visitado 01/09/2012)
- [34] Transformación de una esfera a plano
[http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0027_FHT5/images/FHT519.png]
(Visitado 26/08/2012)
- [35] Proyecciones Mollweide (equivalente) y Mercator (conforme)
[<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f8/Netzentwuerfe.png>]
(Visitado 04/09/2012)
- [36] Proyección de esfera en un cilindro
[http://arquimedes.matem.unam.mx/PUEMAC/PUEMAC_2008/mapas/html/proyecciones/pcilindrica.html]
(Visitado 04/09/2012)
- [37] Proyección transversal de esfera en un cilindro
[<http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/mapproj/gif/transcyl.gif>]
(Visitado 04/09/2012)

- [38] Zonas y husos UTM
[\[http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Utm-zones.jpg\]](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Utm-zones.jpg)
(Visitado 04/09/2012)
- [39] Fotografía de vía
[\[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:08_tory_railtrack_ubt.jpeg\]](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:08_tory_railtrack_ubt.jpeg)
(Visitado 04/09/2012)
- [40] Fotografía de la estación de Madrid-Chamartín
[\[http://hh7000.files.wordpress.com/2007/03/destination-leon.jpg\]](http://hh7000.files.wordpress.com/2007/03/destination-leon.jpg)
(Visitado 04/09/2012)
- [41] Fotografía del apeadero de la Cantábrica
[\[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f8/Apeadero_FEVE_La_Cant%C3%A1brica.jpg\]](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f8/Apeadero_FEVE_La_Cant%C3%A1brica.jpg)
(Visitado 04/09/2012)
- [42] Fotografía de infraestructura ferroviaria, en ella se hace especial alusión a la catenaria
[\[http://www.ferropedia.es/wiki/Archivo:Catenaria_en_Espa%C3%B1a_CAA.JPG\]](http://www.ferropedia.es/wiki/Archivo:Catenaria_en_Espa%C3%B1a_CAA.JPG)
(Visitado 04/09/2012)
- [43] Fotografía de instalación ferroviaria de tercer carril
[\[http://www.ferropedia.es/wiki/Archivo:GS2_img0113jp6.jpg\]](http://www.ferropedia.es/wiki/Archivo:GS2_img0113jp6.jpg)
(Visitado 04/09/2012)
- [44] Imagen de un seccionamiento de catenaria
[\[http://www.trensim.com/galeria/displayimage.php?album=45&pos=59\]](http://www.trensim.com/galeria/displayimage.php?album=45&pos=59)
(Visitado 04/09/2012)
- [45] Fotografía de un automotor Civia
[\[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Utebo_01.JPG\]](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Utebo_01.JPG)
(Visitado 04/09/2012)
- [46] Fotografía de una locomotora de la serie 253
[\[http://www.fotolog.com/sigfridmetrotren/33298463/\]](http://www.fotolog.com/sigfridmetrotren/33298463/)
(Visitado 04/09/2012)
- [47] Fotografía de un automotor de la serie 450
[\[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ut_450_STVC.jpg\]](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ut_450_STVC.jpg)
(Visitado 04/09/2012)